



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## ANTÉNA INTEGROVANÁ DO SEDÁKU AUTOMOBILU

ANTENNA INTEGRATED TO AUTOMOBILE SEAT

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Gulda

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Miroslav Cupal

BRNO 2018

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**  
Ústav radioelektroniky

**Student:** Tomáš Gulda

**ID:** 186510

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2017/18

**NÁZEV TÉMATU:**

## Anténa integrovaná do sedáku automobilu

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhnete anténu vhodnou pro integraci do sedadla automobilu. Anténa bude sloužit pro komunikaci sítě senzorů s řídicí jednotkou. Simulací ověříte vliv pasažéra usazeného na sedlo na parametry antény. Navrženou anténu vyrobte a změřte její parametry ve volném prostoru. Následně integrujte anténu do sedačky automobilu a proveďte měření činitele odrazu při volné sedačce a sedačce s pasažérem.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] A. Takei, "Parallel full-wave electromagnetic field simulation using anatomical human body models," 2017 IEEE International Conference on Computational Electromagnetics (ICCEM), Kumamoto, Japan, 2017, pp. 241-343.

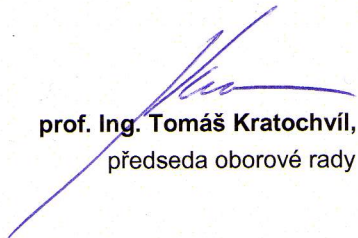
[2] E. K. Kaivanto, M. Berg, E. Salonen and P. de Maagt, "Wearable Circularly Polarized Antenna for Personal Satellite Communication and Navigation," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 59, no. 12, pp. 4490-4496, Dec. 2011.

**Termín zadání:** 5. 2. 2018

**Termín odevzdání:** 24. 5. 2018

**Vedoucí práce:** Ing. Miroslav Cupal



  
prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.  
předseda oborové rady

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem antény integrované do sedadla automobilu. Seznamuje se základy technologie RFID a jeho principem. Konkrétně se práce zabývá návrhem tagu pracujícího v pásmu UHF. Tag byl navržen v programu CST Microwave studio, kde byly provedeny simulace, k ověření základních vlastností antény tagu jako jsou například činitel odrazu a směrová charakteristika. Jsou zde také simulace vlivu sedadla automobilu na vyzařovací charakteristiku. Dále je zde popsána výroba antény na textilním substrátu a jsou zde změřeny její vlastnosti.

## KLÍČOVÁ SLOVA

RFID, tag, UHF, meandrová anténa, automobil, CST Microwave studio, textilní anténa

## ABSTRACT

This thesis is focused on the design of the antenna integrated to automobile seat. Thesis explains the basics of RFID technology, and how RFID works. Especially explains the design of tag, which works in the UHF band. The tag was designed in the CST Microwave studio, where simulations were realized to verify basic properties of the tag such as  $S_{11}$  parameter and directivity. The thesis also contains simulation of the impact of automobile seat on the directivity. Here is the description of how the antenna was made on a textile substrate and here are also measured properties of the antenna.

## KEYWORDS

RFID, tag, UHF, meander antenna, automobile, CST Microwave studio, textile antenna

Gulda, T. *Anténa integrovaná do sedadla automobilu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2017. 40 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Miroslav Cupal

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Anténa integrovaná do sedadla automobilu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Miroslavu Cupalovi za cenné rady a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

# OBSAH

<b>Seznam obrázků</b>	<b>vi</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>viii</b>
<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Základní vlastnosti RFID</b>	<b>2</b>
1.1 Historie RFID .....	2
1.2 RFID čtečka .....	3
1.3 RFID tag .....	4
1.4 Rozdělení RFID tagů .....	5
1.5 Dělení tagů podle pracovní frekvence .....	6
1.6 Standard EPC .....	7
1.6.1 EPC global network .....	7
1.6.2 Výhody EPC .....	7
1.7 Backscattering .....	8
1.8 RCS (Radar cross-section) .....	9
1.9 Maximální čtecí vzdálenost .....	9
<b>2 Vlastnosti antény a čipu</b>	<b>11</b>
2.1 Základní parametry antén .....	11
2.1.1 Činitel odrazu, přizpůsobení antény ( $S_{11}$ parametr) .....	11
2.1.2 Vstupní impedance antény .....	11
2.1.3 Směrová charakteristika antény .....	12
2.1.4 Činitel směrovosti .....	12
2.1.5 Účinnost .....	12
2.1.6 Zisk .....	12
2.1.7 Šířka pásma .....	13
2.2 Meandrová anténa .....	13
2.3 Pasivní RFID integrované obvody .....	15
2.3.1 Integrovaný obvod SL 900A .....	15
2.3.2 Pasivní senzor Magnus® S .....	16

<b>3</b>	<b>Návrh UHF tagu</b>	<b>17</b>
3.1	CST Microvawe studio .....	17
3.2	Návrh antény .....	17
3.3	Buzení antény .....	18
3.4	Simulace RFID tagu.....	19
3.5	Simulace RCS .....	22
3.6	Vyzařovací vlastnosti antény v blízkosti autosedačky .....	23
3.7	Přizpůsobení antény k hlavové opěrce.....	26
<b>4</b>	<b>Výroba a měření antény</b>	<b>29</b>
4.1	Výroba antény .....	29
4.2	Přizpůsobovací vedení .....	30
4.3	Měření antény s koaxiálním kabelem .....	32
4.3.1	Měření činitele odrazu samostatné antény .....	34
4.3.2	Měření činitele odrazu antény u sedadla automobilu .....	35
4.3.3	Měření směrové charakteristiky.....	37
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>39</b>
	<b>Literatura</b>	<b>41</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>42</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Blokové schéma čtečky – převzato z [5].	3
Obrázek 1.2 Zjednodušené blokové schéma tagu – převzato z [2].	4
Obrázek 1.3 Rozdíly mezi pasivním, semipasivním a aktivním tagem – převzato z [2].	5
Obrázek 1.4 Antény pro jednotlivá pásma – převzato z [2].	6
Obrázek 1.5 Backscattering – převzato z [2].	8
Obrázek 2.1 Náhradní model antény.	12
Obrázek 2.2 Meandrování.	13
Obrázek 2.3 Popis použité meandrové antény.	14
Obrázek 2.4 Náhradní model antény.	14
Obrázek 2.5 Blokové schéma integrovaného obvodu SL 900A – Převzato z [13].	15
Obrázek 2.6 Zapojení čipu jako pasivního senzoru – převzato z [13].	16
Obrázek 3.1 Rozměry navržené antény – převzato z [3].	18
Obrázek 3.2 Schéma zapojení buzení pro simulaci.	19
Obrázek 3.3 Činitel odrazu navržené antény.	20
Obrázek 3.4 Směrovost antény.	20
Obrázek 3.5 Směrová charakteristika v rovině yz $\Phi 90^\circ$ .	21
Obrázek 3.6 Směrová charakteristika v rovině xz, $\Phi 0^\circ$ .	21
Obrázek 3.7 Zisk antény.	22
Obrázek 3.8 Výsledek simulace RCS – vlevo, směr ozáření antény rovinnou vlnou – vpravo.	22
Obrázek 3.9 Vyzařování antény umístěné zespodu sedadla (pohled zepředu).	23
Obrázek 3.10 Vyzařování antény umístěné zespodu sedadla (pohled zezadu).	24
Obrázek 3.11 Pozice antény umístěné pod sedadlem, rozměr W podle Obrázku 3.1.	24
Obrázek 3.12 Vyzařování antény umístěné na boku sedadla (pohled zepředu).	24
Obrázek 3.13 Vyzařování antény umístěné na boku sedadla (zezadu).	25
Obrázek 3.14 Umístění antény na sedadle z boku, rozměr V podle Obrázku 3.1.	25
Obrázek 3.15 Model hlavové opěrky a umístění antény v programu CST.	26
Obrázek 3.16 Umístění antény na hlavové opěrce (pohled z boku).	26
Obrázek 3.17 Činitel odrazu na vstupu antény s opěrkou hlavy a bez opěrky.	27
Obrázek 3.18 Porovnání antény přizpůsobené k sedadlu a antény přizpůsobené na 867	



MHz bez sedadla (obě antény ve volném prostoru). .....	28
Obrázek 4.1 Vyrobená anténa. ....	29
Obrázek 4.2 Zapojení L-článku (Analyzátor-sériová indukce-paralelní kapacita-anténa). .....	31
Obrázek 4.3 Zapojení $\Pi$ -článku (Analyzátor-paralelní kapacita-sériová indukce-paralelní kapacita-anténa). ....	32
Obrázek 4.4 Připojení koaxiálního vedení k anténě. ....	33
Obrázek 4.5 Srovnání činitele odrazu při napájení diskretním portem a coax. vedením. .....	33
Obrázek 4.6 Anténa připravená k měření. ....	34
Obrázek 4.7 Srovnání simulace a měření činitele odrazu. ....	35
Obrázek 4.8 Měření antény u sedadla automobilu. ....	36
Obrázek 4.9 Měření činitele odrazu antény u sedadla automobilu. ....	36
Obrázek 4.10 Směrová charakteristika v rovině E. ....	38
Obrázek 4.11 Směrová charakteristika v rovině H. ....	38

# SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1 Přehled pásem využívaných RFID technologií. ....	6
Tabulka 1.2 Efektivní odrazné plochy různých objektů .....	9
Tabulka 3.1 Porovnání rozměrů antény pro různé frekvence a materiál substrátu.....	18
Tabulka 3.2 Porovnání rozměrů antény pro různé frekvence a materiál substrátu.....	27

# ÚVOD

V dnešní době je velký rozvoj bezdrátových komunikačních prostředků pracujících na principu elektromagnetického vlnění. Mezi tyto prostředky se řadí také technologie založená na principu komunikace mezi čtečkou a tagem, tomuto způsobu říkáme radiofrekvenční identifikace, zkráceně RFID. Tato technologie je nejčastěji použita například k identifikaci zboží, kde navazuje na čárové kódy. Kdy právě jako tyto kódy slouží k bezkontaktní komunikaci na malou vzdálenost, dalšími možnostmi využití je například skladové hospodářství, transport a logistika nebo zdravotnictví. Podle různého využití této technologie můžeme RFID dělit například podle využívaných frekvencí, čtecího dosahu, výkonových poměrů, způsobu přenosu mezi čtečkou a tagem a dalšími. Mezi hlavní výhody tohoto způsobu přenosu informací patří jednoznačně způsob snímání, kdy není nutná přímá viditelnost mezi čtečkou a tagem, další hlavní výhodou je možnost náraz načíst data z více tagů v jednom okamžiku. Nejdůležitější kladnou vlastností tagu je samozřejmě jeho jednoduchost výroby, nízká cena, jeho rozměry a hmotnost. Naopak nevýhodou této technologie může být úzkopásmovost vyráběných tagů, mají nižší zisk, mohou být velmi ovlivněny blízkostí kovových předmětů, ale také substrátem, na kterém jsou zhotoveny. Jako hlavní nevýhodou použití technologie RFID se může jevit její bezpečnost, kdy při prolomení ochrany by mohlo dojít k nepovolenému čtení kódu. Při zakládání systému RFID se musí také počítat s náklady pro zavedení technologie. Využití RFID v této práci bude v oblasti automobilového průmyslu, jedná se o návrh pasivního tagu, který se skládá z meandrové antény, na kterou je připojen čip, který obsahuje senzor a ten umožňuje snímat například teplotu, tlak nebo vlhkost ovzduší v automobilu.

V první části je provedeno seznámení s technologií RFID a jeho základními vlastnostmi, způsob komunikace čtečka/tag, rozdělení tagů, jejich důležité parametry.

Druhá část práce je zaměřena na parametry meandrové antény, jakým způsobem se navrhuje. Poté také na vlastnosti pasivního čipu, který je u antény využit a jeho impedanci.

Ve třetí části je uveden návrh pasivního senzorového tagu, jsou zde provedeny simulace jeho základních parametrů, jako je například přizpůsobení antény a čipu, směrové charakteristiky. Dále jsou zde uvedeny a zhodnoceny výsledky simulací tagu při použití metody RCS (Radar cross-section), a také výsledky simulací vlivu autosedačky na parametry antény.

V poslední části je popsáno, jakým způsobem byla anténa vyrobena, které materiály byly použity. Dále je zde poté popsáno samostatné měření antény a její vlastnosti, které byly tímto měřením dokázány.

# 1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI RFID

Cílem práce je navržení pasivního tagu pracujícího v pásmu UHF, který bude využit v automobilu například pro snímání teploty, bude se skládat z antény a pasivního čipu, který bude obsahovat právě senzor pro získání těchto informací. Tato kapitola se věnuje základním vlastnostem systému RFID, jeho principu a důležitým parametrům, které využití této technologie ovlivňují.

Technologie RFID se skládá z těchto dvou částí:

- Tag – je umístěn, na nějakém objektu, případně zboží, v tomto případě na autosedačce, a uchovává v sobě informace které získal, nebo mu byly zadány.
- Čtečka – čtecí zařízení, které umožňuje přečíst z tagu informace, které uchovává

## 1.1 Historie RFID

Vznik RFID by se dal zařadit někdy do dob druhé světové války, kdy se objevily první radary, které během boje snímaly okolí a zaznamenávaly, zda se neblíží letoun, princip byl založen na tom, že radar vyslal vlnu, která se odrazila od letounu a radarem tato odražená vlna byla přijata. Nebylo však možné rozlišovat, zda se jedná o letoun nepřátelský, nebo nikoliv. Toto se snažili řešit němečtí letci speciálním manévrem, protože zjistili, že při naklonění dojde ke změně odraženého signálu, tudíž mohli dát najevo, že se jedná právě o jejich letoun, tento manévr byl velice nepraktický, z toho důvodu, že mohl být napodobován. V letech 1937/1938, Spojené státy americké a Velká Británie otestovali jednoduchý IFF (Identify Friend or Foe – rozpoznání přítele, nepřítele) systém, na všechny letouny těchto dvou národů byly umístěny vysílače. Když tento vysílač na letounu přijal signál od radaru, vyslal signál zpět, tím bylo jasné, že se jedná o přátelský letoun, dá se říci, že na stejném principu pracuje i samotné RFID, čtečka vyšle signál do transpondéru, který se oživí a buď přijatý signál odrazí zpět u pasivního systému, nebo signál vysílá aktivní systém [2][9].

K výraznému rozvoji docházelo v 50. a 60 letech, kdy se vědci pokoušeli RFID technologii uplatnit v oblasti rozpoznávání objektů. Byly uvedeny systémy proti krádeži, kdy tato technologie pomocí radiových vln pomohla určit, zda bylo zboží zakoupeno či nikoliv [9].

Zásadní objev přišel v roce 1973, kdy americký vynálezce Mario W. Cardullo získal patent pro aktivní RFID tag s přepisovatelnou pamětí, tento vynález je považován jednoznačně za prvního skutečného předchůdce RFID [9].

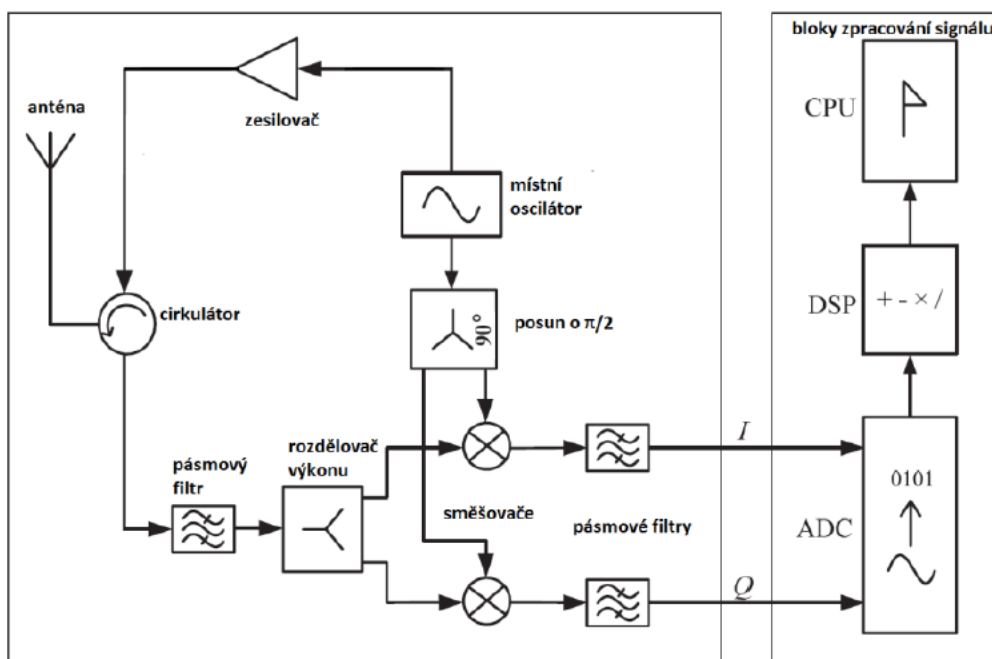
Systémy byly neustále s plynoucím časem zdokonalovány. Počátkem 90. let byl otestován a patentován systém RFID pracující na velmi vysokých frekvencích (UHF). Tato novinka umožnila komunikaci čtečky s tagem na větší vzdálenosti, při dobrých podmínkách to mohlo být až 6 m [9].

V roce 1999 dochází k velkému impulsu v rozvoji UHF RFID pásma. Vědecký kolektiv se zabýval vývojem dostupných RFID tagů, které měly být použity pro označení výrobků s cílem jejich sledování v rámci dodavatelsko-odběratelských řetězců. Do tagu mělo být zapsáno pouze sériové číslo, které mělo být propojeno s online databází. Do této

doby byla technologie RFID chápána jako mobilní databáze, která nesla určitou informaci, po propojení objektů k internetu se z RFID stává technologie síťová. Toto byl základní krok v rozvoji, pro podniky využívající tuto technologii. Nastala výrazná změna, výrobci nyní měli možnost obchodním partnerům zprostředkovávat informace o produktu, kdy bylo zboží vypraveno, nebo vyrobeno. Naopak prodejci mohli dodavatele informovat o přijetí zboží [9].

## 1.2 RFID čtečka

RFID čtečka je složená z vysílače, který vysílá signál tagu a přijímače, ten zase přijímá signál od tagu. Dále je vybavena výpočetní jednotkou, která přijímaná data dekóduje a zpracovává.



Obrázek 1.1 Blokové schéma čtečky – převzato z [5].

Blokové schéma (Obrázek 1.1) znázorňuje rozdělení čtecího zařízení na dvě části. Část vysokofrekvenční se skládá z přijímače a vysílače, lokálního oscilátoru, cirkulátoru a antény.

Přijímací zařízení obsahuje vysokofrekvenční pásmovou propust, která zabraňuje interferencím mimo pásmo operačních frekvencí. Dále je zde dělič výkonu, blok posouvající fázi a směšovače, tyto tři části tvoří kvadraturní demodulátor, který slouží k obnovení dat modulovaných tagem. Blok pásmové propusti naladěné na základní pásmo má za úkol odstranit nízkofrekvenční a vysokofrekvenční rušivé signály a šумы. Vysílač obsahuje pro dosažení potřebné výkonové úrovně zesilovače. Cirkulátor má funkci oddělení vysílače od přijímače, v případě že je použita pouze jedna anténa pro obě tyto funkce. Anténa čtečky vyzařuje energii do prostoru a zároveň přijímá signály vysílané od tagu [5].

Druhá část, ze které se čtečka skládá je blok číslicového zpracování, který má za úkol například vzorkování, dekodování a vyhodnocování dat. Tento blok obsahuje A/D převodník, dále pak signálový procesor a centrální procesor [5].

### 1.3 RFID tag

RFID tag se skládá z antény a integrovaného obvodu, který je na ni napojen. Antény tagu jsou tvořeny dvěma typy. Pro nižší frekvence do 100 MHz se používají LC rezonanční obvody. Pro frekvence nad 100 MHz se používají dipólové antény. Tagy s induktivní vazbou samy generují a vysílají k čtečce modulovaný signál [8].

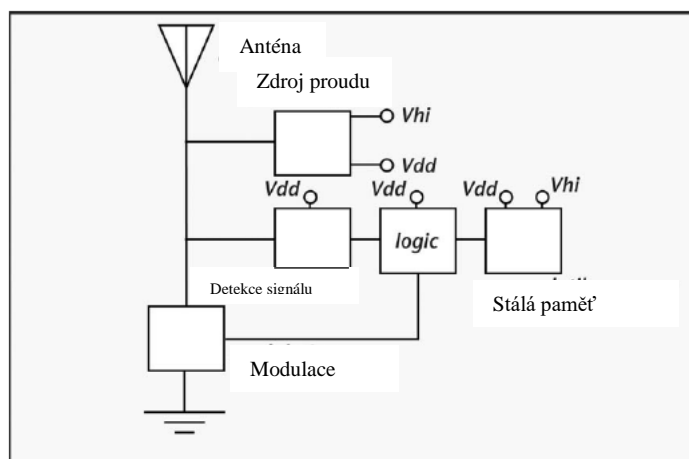
Tato práce je zaměřena na návrh UHF tagu, tyto tagy se skládají právě z dipólové antény, která ke komunikaci se čtečkou využívá odražené vlny. K anténě je připojen integrovaný obvod, který slouží ke zpracování přijaté energie od čtečky [8].

Výkon, který čip absorbuje můžeme vypočítat pomocí tohoto vztahu [8]:

$$P_{chip} = P_{reader} \cdot \rho \cdot C \cdot \tau, \quad (1.1)$$

kde  $P_{\text{reader}}$  je výstupní výkon čtečky,  $\rho$  hodnota impedančního přizpůsobení mezi čtečkou a její anténou,  $C$  je činitel vazby mezi anténou čtečky a tagu.  $\tau$  výkonový přenosový koeficient.

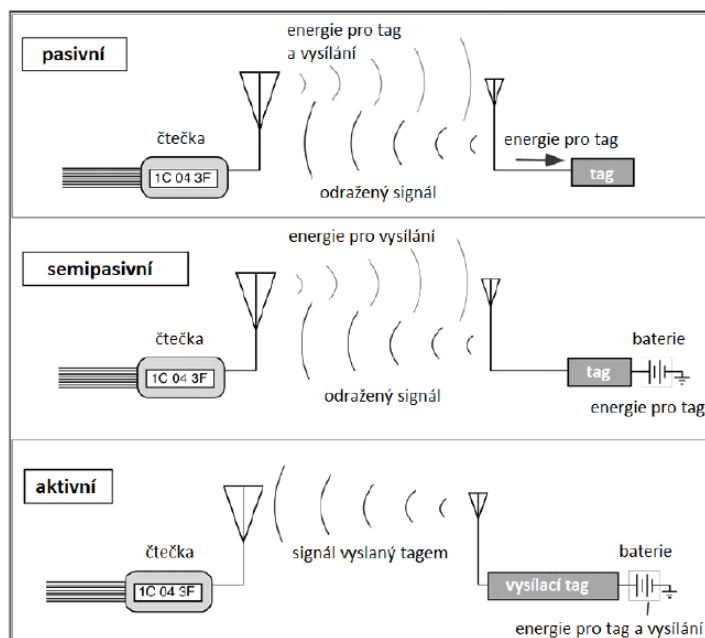
Zjednodušená funkce tagu je znázorněna na následujícím Obrázku 1.2. Rádiový signál, který tag přijme od čtečky je v anténě změněn na střídavý proud. Z tohoto proudu musí tag získat energii a informace. Pro získání napájecího napětí pro integrovaný obvod musí usměrnit střídavý proud na stejnosměrný. Tag musí pomocí přijaté energie zpracovat výsledná data, a modulovat přijatý signál. Tento modulovaný signál je poté odražen zpět čtečce a obsahuje data která byla v tagu uložena [2].



Obrázek 1.2 Zjednodušené blokové schéma tagu – převzato z [2].

## 1.4 Rozdělení RFID tagů

Podle způsobu komunikace tagu se čtečkou je můžeme rozdělit do čtyř skupin (aktivní, pasivní, semipasivní a semiaktivní).



Obrázek 1.3 Rozdíly mezi pasivním, semipasivním a aktivním tagem – převzato z [2].

Při použití pasivního tagu dochází k vyslání signálu čtečkou na tag, který není nijak napájen, tag je přijímaným signálem oživen, a pomocí odražené vlny odešle informaci, kterou uchovává (Obrázek 1.3 – nahoře).

Semipasivní tag funguje na podobném principu jako tag pasivní, s tím rozdílem, že zde je tag napájen, a integrovaný obvod uvnitř tagu je oživen pomocí napájení, nikoliv pouze vyslanou energií čtečky. Komunikace ale probíhá stejně jako u pasivního tagu, je zde opět čtečkou vyslána vlna a tag pomocí vlny odražené odesílá informaci čtečce (Obrázek 1.3 – uprostřed).

Aktivní tagy obsahují napájení, i vlastní zdroj elektromagnetického vlnění, tag tedy přijme signál od čtečky, zpracuje ho již oživeným čipem, a odešle ho vlastním signálem zpět do čtečky (Obrázek 1.3 – dole).

Může zde být zařazena ještě kategorie semiaktivních tagů, které pracují na stejném principu jako tagy aktivní s tím rozdílem, že k oživení integrovaného obvodu tagu dochází až po přijetí signálu čtečky

V případě této práce se budeme zabývat návrhem pasivního tagu, výhodou tohoto principu je jeho jednoduchost a výsledná cena výroby. Naopak nevýhodou je menší čtecí vzdálenost, protože je zapotřebí velkého výkonu čtečky, aby byl oživen čip, který je připojen na anténu.

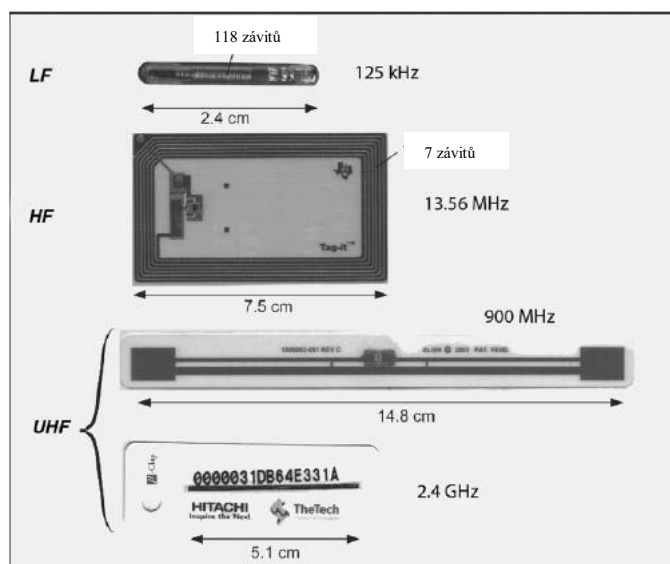
## 1.5 Dělení tagů podle pracovní frekvence

Podle frekvenčního rozsahu, na kterém tagy pracují, mohou být rozděleny do tří základních skupin, na tagy pracující v pásmu nízkých (LF), vysokých (HF) a velmi vysokých frekvencích (UHF).

Tabulka 1.1 Přehled pásem využívaných RFID technologií.

Pásmo	Frekvence	Čtecí vzdálenost
LF	125/134 kHz	do 30 cm
HF	13,56 MHz	do 1 m
UHF	od 850 do 950 MHz	do 10 m
MW	od 2,4 GHz	několik desítek metrů

V Tabulce 1.1 lze vidět srovnání jednotlivých pásem, které se využívají v RFID technologii, je možné vypožiorovat, že čím větší frekvence je využita, tím větší je čtecí vzdálenost. Každé pásmo využívá jiný druh antény.



Obrázek 1.4 Antény pro jednotlivá pásma – převzato z [2].

Nízkofrekvenční systémy využívají indukční vazby, a využívají cívku jako anténu, napětí na cívce je úměrné počtu závitů, velikosti cívky a frekvenci na které cívka pracuje. Právě pro tyto nízké frekvence je typická tato anténa, kde se počet závitů pohybuje mezi desítkami až stovkami, které zaručují dostatečné napětí pro oživení integrovaného obvodu, který je součástí tagu. Také mohou využívat feritové jádro ke zvýšení indukčnosti cívky. Tyto tagy jsou velice drobné bývají implementovány do dobytka nebo lidí (Obrázek 1.4 – nahoře) [2].

Vysokofrekvenční systémy (HF) jsou typické například pro kreditní karty, anténa je opět tvořena cívku, která využívá pouze několik otáček vodiče (3-6) pro produkování několika voltů, přiměřená vzdálenost čtení tohoto tagu je několik desítek centimetrů. Tento typ antény může být vyráběn v sadách pomocí litografické metody (Obrázek 1.4 – uprostřed) [2].



Cívkové antény nejsou naopak vhodné pro tagy pracující na velmi vysokých frekvencích (UHF), zde se využívají různé varianty dipólů, které mají rozměry jako polovina vlnové délky. Jejich velikost se pohybuje okolo patnácti centimetrů u frekvence 900 MHz. Někdy se u UHF tagů využívá malých smyčkových antén, ale tyto tagy jsou limitovány velmi malou čtecí vzdáleností. Relativní jednoduchost UHF tagu při použití dipólu, který vyžaduje pouze tento dipól a integrovaný obvod připojený na něj, nedosahuje kritických rozměrů a není zde nutné žádné křížení či vrstvení vodiče. Díky těmto parametrům klesá cena výroby tagu. Tagy UHF se využívají nejčastěji při výběru mýtného u automobilů, nebo při sledování železničních vozidel, kde čtení na vzdálenost několika metrů umožňuje značnou flexibilitu, vzhled tagu je vidět ve spodní části obrázku (Obrázek 1.4 – dole) [2].

Nevýhodou UHF frekvencí je nesjednocené frekvenční pásmo po celém světě, kdy například v Evropě je využíváno frekvencí v pásmu 865-868 MHz, kdežto v USA se využívá frekvencí 902-928 MHz.

U mikrovlnných tagů (MW) se využívají nejčastěji kmitočty 2,4 GHz a 5,8 GHz. Výhodou využití těchto kmitočtů by se mohlo zdát zmenšování rozměrů antény s vyšší frekvencí. Bohužel se zde ale negativně projevuje elektromagnetické rušení a veškeré další překážky, mezi které může patřit kov, voda a další. Právě tyto překážky buď komunikaci velice ruší, nebo ji úplně znemožňují [8].

## **1.6 Standard EPC**

Jedná se o celosvětově uznávaný standard, ve kterém pracuje velké množství čteček a tagů, tím pádem lze čtečkou, která podléhá tomuto standardu vyčíst data z tagu, který tomuto standardu také podléhá. V překladu se EPC dá přeložit jako elektronický kód produktu. Datovým nosičem v tomto standardu je právě tag, připevněný k nějakému objektu a pomocí technologie RFID, poskytuje své identifikační číslo čtečce.

Tento standard umožnil velký posun hlavně v logistice a obchodu, kdy na strategických místech v logistickém řetězci mohou být načteny informace o produktech, díky tomuto můžou oprávnění uživatelé například zjistit, kde se daný produkt, či výrobek o který se zajímá nachází [9].

### **1.6.1 EPC global network**

Jedná se o soubor technologií, které umožňují sdílení dynamických informací o objektech, které se pohybují v logistickém řetězci. EPC global network přispívá ke zvyšování efektivity procesů tím, že poskytuje obchodním partnerům informace, které pomáhají zprůhlednit výkonnost logistických řetězců a udržet kontrolu nad logistickými operacemi prováděnými v globálním měřítku [9].

### **1.6.2 Výhody EPC**

Jednoznačně mezi hlavní výhody tohoto standardu patří zlepšení dostupnosti zboží na prodejnách, zkrácení doby dodání, vyšší efektivita práce terminálů, redukce činností v oblastech administrativy, toto jsou výhody pro obchodníky, kteří tento standard využívají.

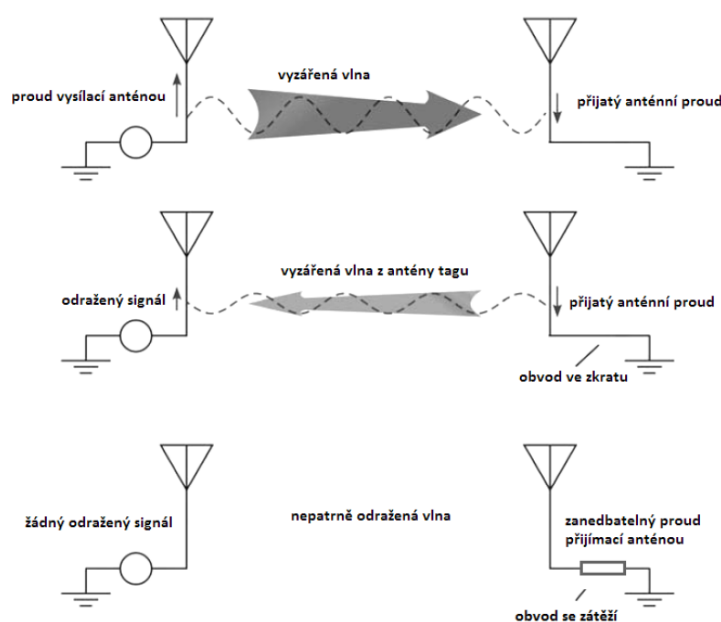
Hlavní výhodou pro výrobce je jednoznačně snížení pohledávek, zrychlení plateb

odběratelů díky bezchybnému příjmu zboží, zrychlení a ustálení pohybu zásob. Další důležitou výhodou je snížení počtu chyb v logistice, tedy omezení chybných dodávek [9].

V tomto standardu bude fungovat i integrovaný obvody, který bude připojen k navrhované anténě.

## 1.7 Backscattering

Signál ze čtečky je tagem buď odražen, nebo pohlcen. Oba případy jsou zobrazeny na následujícím Obrázku 1.5.



Obrázek 1.5 Backscattering – převzato z [2].

Nahoře na obrázku můžeme vidět signál vyslaný čtečkou k tagu. V případě, že je přijímací anténa připojena k zátěži představující malý odpor k toku proudu. Na anténě přijímače protéká proud [2].

Uprostřed na obrázku vidíme případ zkratovaného vedení vedoucího od přijímací antény k zemi, v tomto případě dochází v přijímací anténě k indukovaní proudu, který je v ideálním případě roven proudu, který prochází anténou čtečky. Díky principu reciprocity, která říká že každá struktura, která přijímá vlnu ji může také vyslat, se tedy přijímací anténa, kterou protéká proud stává zdrojem vlnění, tudíž je vyslána vlna, kterou anténa vysílací detekuje jako odraženou vlnu [2].

Ve spodní části obrázku lze vidět případ, kdy je anténa rozpojená, tedy mezi anténou a zemí je nekonečný odpor, v tomto případě v anténě, která přijímá signál od vysílací antény není indukován proud a anténa se nestane zdrojem vlnění. Přijímací anténa nevysílá žádný signál a vysílací anténa tedy nemůže zachytit odraženou vlnu [2].

## 1.8 RCS (Radar cross-section)

Jedná se o efektivní odraznou plochu, která bývá označována jako  $\sigma_{ef}$  a její jednotka je udávána buď v  $m^2$  nebo v  $dBm^2$ , tato veličina se nejčastěji používá v radarové technice. Jedná se o schopnost objektu odrazit energii, zpět k vysílači. Velikost RCS je závislá na tvaru detekovaného tělesa, na jeho materiálu, směru odkud je objekt, který má být detekován ozařován, ale také na frekvenci radarového vysílače [4] [10].

RCS tedy udává míru odrazu elektromagnetické vlny od ozařovaného objektu, většinou se výrazně liší od jeho skutečné plochy. Může být definována následujícím vztahem [4]:

$$\sigma_{ef} = \lim_{r \rightarrow \infty} 4\pi r^2 \frac{|E_s|^2}{|E_i|^2}, \quad (1.2)$$

kde  $r$  je vzdálenost mezi bodem pozorování a ozařovaným objektem,  $E_s$  je vektor intenzity elektrického pole odražené vlny v bodě pozorování a vektor  $E_i$  je vektor elektrického pole dopadající vlny v místě dopadu. Stejným způsobem by se místo vektorů intenzity elektrického pole daly použít vektory intenzity magnetického pole, případně výkonové hustoty.

Efektivní odraznou plochu je pomocí výpočtů velice obtížné odhadnout, proto se spíše využívá měření a simulací pro zjištění této vlastnosti tělesa [10].

U RFID tagu RCS výrazně ovlivňuje maximální čtecí vzdálenost tagu [4].

Pro detailnější představu, co RCS znamená, je zde uvedena následující Tabulka 1.2, efektivních odrazných ploch pro různé případy se kterými je možné se setkat v běžném životě. Čím menší je efektivní odrazná plocha tím horší je schopnost zachytit pozorovaný objekt.

Tabulka 1.2 Efektivní odrazné plochy různých objektů.

Pozorovaný objekt	Efektivní odrazná plocha [m2]
Hmyz	0,00001
Pták	0,01
Stealth letadla	<0,1
Člověk	1
Malé letadlo	2-3
Nákladové letadlo	do 100
Pobřežní obchodní loď	300-4 000
Kontejnerová loď	10 000-80 000

## 1.9 Maximální čtecí vzdálenost

Ve směrech, kde dosahuje anténa tagu nejvyššího zisku, je dosaženo i maximální čtecí vzdálenosti. Maximální čtecí vzdálenost u tagů může být v rozmezí od několika milimetrů po několik desítek metrů, podle použité pracovní frekvence tagu. Maximální čtecí vzdálenost ovlivňuje několik parametrů, jako je například frekvence, na které tag

pracuje, na jeho citlivosti a na vzájemné polarizaci antény čtečky a tagu.

Maximální čtecí vzdálenost tagu je možné vypočítat dle následujícího vztahu [6]:

$$R = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot \sqrt[4]{\frac{P_{transmitted}^{reader} \cdot G_{reader}^2 \cdot G_{tag}^2}{P_{sensitivity}^{reader}}}, \quad (1.3)$$

kde  $G_{reader}$  je zisk vysílací antény čtečky,  $G_{tag}$  je zisk antény tagu,  $P_{transmitted}^{reader}$  je výkon vysílaný čtečkou a  $P_{sensitivity}^{reader}$  je minimální výkon potřebný pro napájení tagu.

## 2 VLASTNOSTI ANTÉNY A ČIPU

Tato kapitola seznamuje se základními parametry antén. Konkrétně je zde pak popsán typ antény, který bude využit pro návrh tagu. Popsány jsou parametry této antény, na které se bylo třeba při návrhu zaměřit. Jedná se o dipól, který je zkrácen metodou meandrování. Dalším bodem této kapitoly bude seznámení s pasivními senzorovými čipy. Senzor bude ve středu tagu a bude připojen k anténě.

### 2.1 Základní parametry antén

Mezi základní parametry antén patří činitel odrazu, který nám značí přizpůsobení na vstupu antény, zisk antény, směrová charakteristika, účinnost, vstupní impedance a šířka pásma.

#### 2.1.1 Činitel odrazu, přizpůsobení antény ( $S_{11}$ parametr)

Činitel odrazu udává poměr přijaté a odražené energie na vstupu antény. Čím menší je hodnota parametru  $S_{11}$ , tím lépe je anténa přizpůsobena. Činitel odrazu získáme pomocí impedance antény a impedance napájení antény, v případě RFID tagu se bude anténa přizpůsobovat k použitému integrovanému obvodu [1] [8]. Může být vypočítán podle vztahu (2.1) [1]:

$$S_{11} = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0}, \quad (2.1)$$

kde  $Z_A$  je impedance antény a  $Z_0$  impedance připojeného vedení nebo čipu.

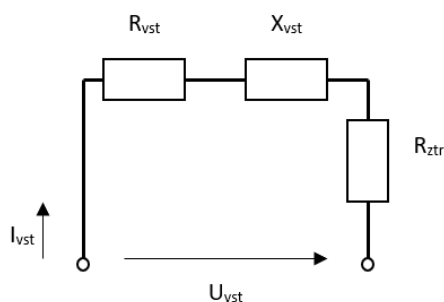
Logaritmické vyjádření parametru  $S_{11}$  v decibelech je získáno pomocí (2.2) [1]:

$$S_{11dB} = 20 \cdot \log S_{11}. \quad (2.2)$$

#### 2.1.2 Vstupní impedance antény

Vstupní impedanci antény může být naměřena na vstupních svorkách antény, rozhoduje o přizpůsobení antény k napájecímu vedení. Vstupní impedance obsahuje jak reálnou složku  $R_{vst}$  (vstupní odpor), tak složku imaginární  $X_{vst}$  (vstupní reaktance). Ve skutečnosti má anténa také ztrátovou složku  $R_{ztr}$  (ztrátový odpor antény) [7]. Podle náhradního modelu antény (Obrázek 2.1) může být vypočítána vstupní impedance antény podle vztahu [7]:

$$Z_{vst} = R_{vst} + X_{vst} + R_{ztr} [\Omega]. \quad (2.3)$$



Obrázek 2.1 Náhradní model antény.

### 2.1.3 Směrová charakteristika antény

Jedná se o grafické vyjádření směrových vlastností antény. Většinou je vykreslována pro určitou rovinu [11].

### 2.1.4 Činitel směrovosti

Činitel směrovosti závisí na funkci záření. Samotný činitel směrovosti dovoluje vypočítat intenzitu pole, známe-li vyzařovaný výkon [7]. V případě, že má anténa dobře vyjádřený hlavní lalok a k tomu ne příliš velké postranní laloky platí tento přibližný vztah [7]:

$$D_{max} = \frac{35\,000}{2\theta_E \cdot 2\theta_H}, \quad (2.4)$$

kde  $2\theta_E$  s  $2\theta_H$  jsou úhlové šířky hlavního laloku ve dvou navzájem kolmých rovinách, vyjádřené ve stupních.

Činitel směrovosti je větší než jedna ve směrech, do kterých soustřeďuje svoje záření a menší než jedna ve směrech, kde vyzařování potlačuje [11].

### 2.1.5 Účinnost

Účinnost antény je definována poměrem vyzářeného výkonu ku příkonu. Vysoká účinnost je dána nízkým ztrátovým odporem, případně vysokým odporem záření [7].

Účinnost je dána vztahem [7]:

$$\eta = \frac{R_{\Sigma vst}}{R_{\Sigma vst} + R_{ztr}}, \quad (2.5)$$

kde  $R_{\Sigma vst}$  je odpor záření antény a  $R_{ztr}$  je ztrátový odpor antény

### 2.1.6 Zisk

Zisk antény je parametr, který vyjadřuje maximální hodnotu činitele směrovosti v decibelech. Dříve byl vyjadřován jako součin činitele směrovosti a účinnosti. V dnešní době se využívá pouze u antén pro kmitočty do 30 MHz, protože antény pracující na

vyšších kmitočtech mají účinnost blízko jedné, a tak součin těchto parametrů ztrácí význam [11] [7].

Zisk pro vysoké frekvence je definován vztahem [7]:

$$G = 10 \cdot \log D_{\max}, \quad (2.6)$$

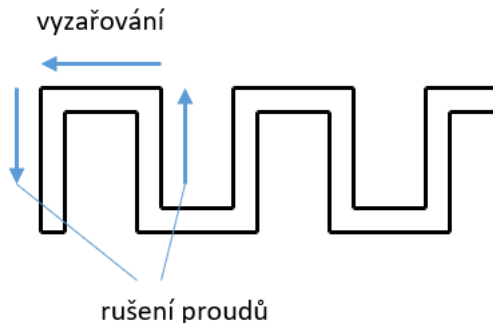
kde  $D_{\max}$  je maximální hodnota činitele směrovosti.

### 2.1.7 Šířka pásma

Jedná se o frekvenční interval, značíme jej  $B$  [Hz]. Šířka pásma je určována pomocí činitele odrazu, například při stanovení limitního případu  $S_{11} = -10$  dB, to značí že do šířky pásma patří intervaly, kdy je hodnota činitele odrazu právě menší než -10 dB, hodnoty vyšší už nepatří do frekvenčního pásma.

## 2.2 Meandrová anténa

Metoda meandrování pomáhá ke zmenšení rozměrů antény. U RFID se v pásmu UHF nejčastěji používá dipólových antén. Rozměry dipólu na využívané frekvenci 867 MHz jsou značných velikostí (asi 17 cm), což je velice nepraktické a zároveň by pouhý dipól nedosahoval dobrého impedančního přizpůsobení [8].

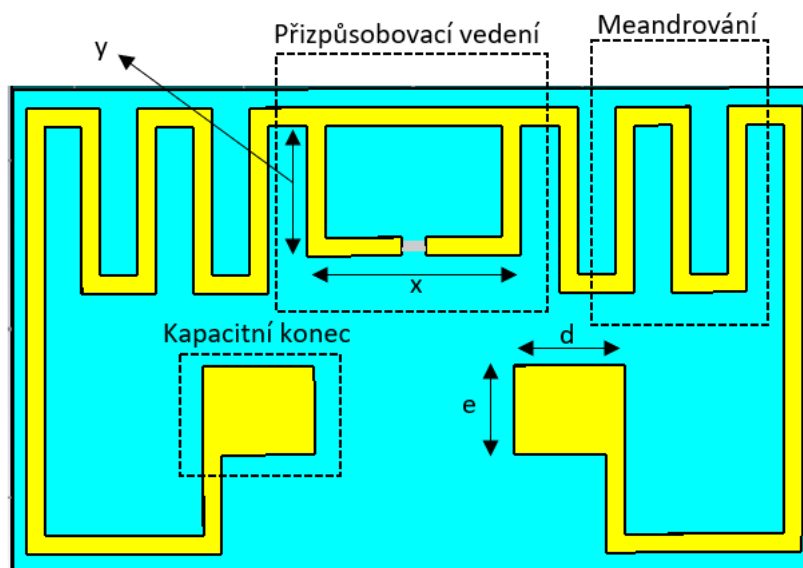


Obrázek 2.2 Meandrování.

Meandrováním se mění rezonanční frekvence, když je zvyšován počet meandrů a zároveň je zachována délka antény, tedy má stejnou délku jako dipól bez meandrů je frekvence rezonance posunuta na nižší frekvence. Při požadavku o zachování rezonančního kmitočtu musí být meandrová anténa delší, než obyčejný dipól [3][8].

Tato technika zmenšení antény má ovšem i negativní důsledky. Meandrováním antény se mění její kapacita a indukčnost. Další negativní vlastností je vzájemné rušení proudů v sousedních ramenech, kdy jsou ve vzájemné inverzi. Dojde k vyrušení proudů a anténa vyzařuje pouze ve směru původního dipólu, což lze vidět na Obrázku 2.2. Při vyšší hustotě meandrů je toto rušení patrné více a může být těmito hustě meandrovitými částmi dán i odpor antény [8].

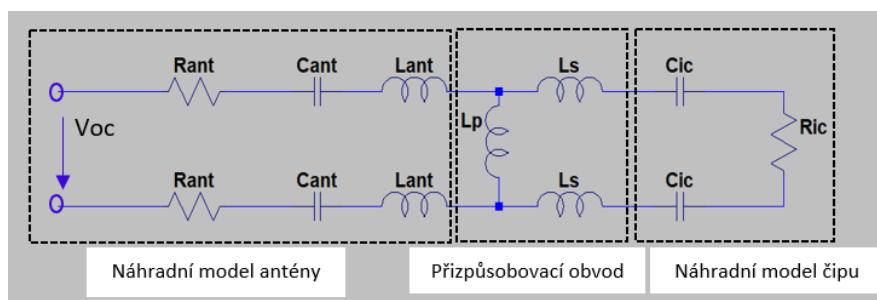
Pro tuto práci byla vybrána meandrová anténa, složitějšího tvaru, kromě metody meandrování je zde použita další metoda redukce velikosti antény. Na konci antény se nachází kapacitní rozšíření, které je tvořeno obdélníkovou strukturou. Tuto kapacitu ovlivňují rozměry  $d$  a  $e$  (Obrázek 2.3). Zvýšení této kapacity, posune rezonanční kmitočet na nižší hodnotu. Pro posunutí rezonanční frekvence zpět na požadovanou hodnotu musí být zmenšen celkový rozměr antény. Dalším prvkem této antény je přizpůsobovací vedení, které je vedeno od čipu k začátku antény, tímto vedením ovlivňujeme indukčnost antény, která nám pomáhá přizpůsobit anténu ke kapacitnímu čipu, který je k anténě připojen. Popis antény a jejich jednotlivých částí je uveden na Obrázku 2.3 [3].



Obrázek 2.3 Popis použité meandrové antény.

Přizpůsobovací vedení, o kterém byla řeč je tvořeno parametry  $x$  a  $y$ , což je patrné z Obrázku 2.3. Parametr  $x$  ovlivňuje sériovou indukčnost, zatímco parametr  $y$  ovlivňuje paralelní indukčnost [3].

Kompletní anténa se tedy sestává z přizpůsobovacího vedení, na kterou je připojen kapacitní RFID čip. Samotná anténa je tvořena indukční, kapacitní a odporovou částí. Anténa s čipem tvoří kompletní tag, který můžeme překreslit pomocí náhradního schématu (Obrázek 2.4) [3].



Obrázek 2.4 Náhradní model antény.

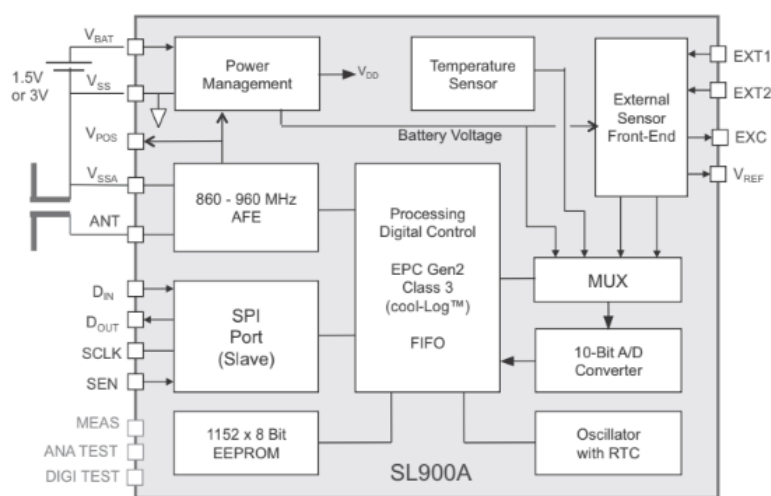


## 2.3 Pasivní RFID integrované obvody

Pasivní integrované obvody mívají malou hodnotu reálné složky impedance a velkou hodnotu imaginární složky. K anténě navržené v této práci by měl být připojen pasivní UHF integrovaný obvod, který by měl umožnit změřit například teplotu, tlak či vlhkost.

### 2.3.1 Integrovaný obvod SL 900A

Tento integrovaný obvod by se měl stát jádrem navrhované antény, jedná se o integrovaný obvod, jehož výrobcem je firma **ams**. Čip pracuje v celosvětovém standardu EPC, a je z něj tedy možné vyčíst data pomocí velkého množství čteček, pracujících v tomto standardu. Blokové schéma čipu lze vidět na následujícím Obrázku 2.5 [13].



Obrázek 2.5 Blokové schéma integrovaného obvodu SL 900A – Převzato z [13].

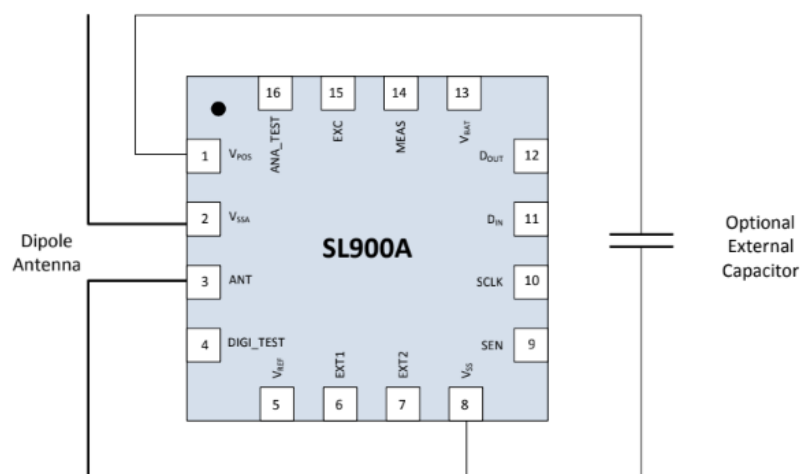
Tento čip může pracovat jak v režimu, kdy je k němu připojena baterie a čip je napájen, tak v pasivním módu, kdy je čip napájen pouze vysokofrekvenčním signálem ze čtečky.

Čip má v sobě zabudovaný teplotní senzor, a umožňuje připojení dalších dvou externích senzorů. Lze například připojit senzory pro měření vlhkosti, tlaku, nebo senzor světla.

Teplotní senzor zabudovaný v tomto čipu umožňuje měření teploty v rozsahu -20–60 °C s přesností  $\pm 1$  °C, senzor umožňuje měřit dokonce teploty od -40 °C do 125 °C, přesnost tohoto měření ale klesá.

Čip má malé rozměry (5 x 5 mm), je zabudovaný v QFN pouzdře, má 16 pinů a jeho impedance, ke které je přizpůsobena anténa je 123-j303  $\Omega$ , která je změřena na frekvenci 915 MHz. Má zabudovanou paměť, která je schopna uchovat 841 teplotních měření.

S anténou v této práci by měl čip pracovat v pasivním režimu a anténa k čipu bude připojena následujícím způsobem (Obrázek 2.6) [13].



Obrázek 2.6 Zapojení čipu jako pasivního senzoru – převzato z [13].

Pro větší čtecí vzdálenost je možné zapojit externí kapacitu mezi pin  $V_{pos}$  a  $V_{ss}$ .

### 2.3.2 Pasivní senzor Magnus® S

Další variantou integrovaného pasivního obvodu je senzorový RFID čip Magnus® S firmy RF Micron. Tento integrovaný obvod se používá ve většině komerčně vyráběných senzorových tagů. Tento čip umožňuje přímé napojení na anténu, spojením těchto dvou částí (anténa, čip) vznikne pasivní senzor. Snímání tohoto tagu je možné pomocí cenově dostupných snímačů pro více podnětů. Senzor je schopný snímat například vlhkost, teplotu ale také polohování. Velkou výhodou je že není potřeba žádného napájení, veškeré napájení je provedeno vyzářeným výkonem čtečky. Čip je vyroben pro práci ve frekvenčním pásmu UHF. Mezi jeho oblasti použití se řadí automobilový průmysl, zdravotnictví a mnoho dalších [12].

## 3 NÁVRH UHF TAGU

Kapitola seznamuje s postupem návrhu UHF tagu. Návrh byl proveden v programu CST Microwave studio. Tag byl podroben základním simulacím, provedeny byly simulace k ověření přizpůsobení antény k čipu, dále simulace k získání vyzařovací charakteristiky antény. Byly provedeny také simulace RCS (Radar cross-section) a vlivu autosedačky na vyzařovací vlastnosti antény.

### 3.1 CST Microwave studio

Program umožňuje namodelování antény a její následnou simulaci. V tomto programu byla zvolena simulace v časové oblasti, jednou z výhod tohoto typu simulace je jednoznačně získání širokopásmové odezvy simulovaného objektu, v našem případě antény.

Důležitý faktor simulace je buzení antény, v programu je možné buzení buď pomocí diskrétního portu, nebo vlnového portu, dále je možné buzení pomocí rovinné vlny.

Pro buzení antény a získání jejich důležitých parametrů je využit diskrétní port, který je jednou z nejjednodušších možností a je vhodný pro drátové struktury, mezi které patří i simulovaný dipól. Dále bude využita rovinná vlna, díky které můžou být získány výsledky pro RCS. Vlnový port bude využit při simulaci antény s koaxiálním vedením.

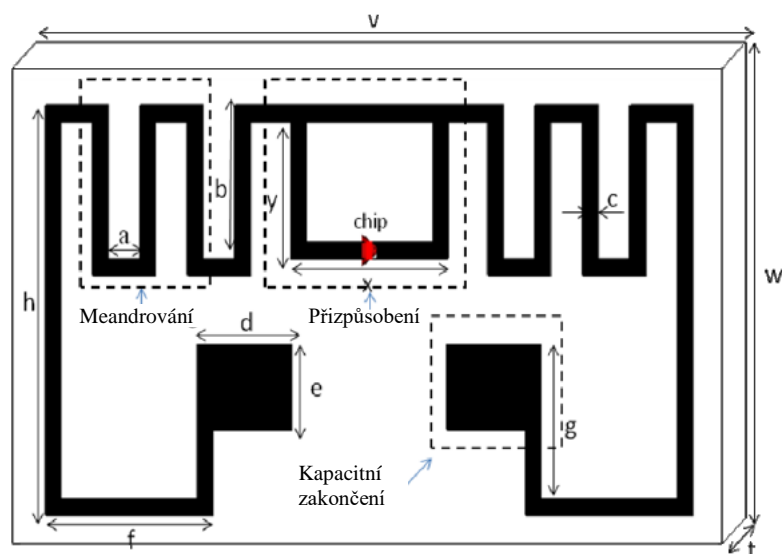
Simulace jsou prováděny ve frekvenčním rozsahu 800–1100 MHz.

### 3.2 Návrh antény

Nejdříve byla podle [3] namodelována anténa s přesně danými rozměry a materiálem, který byl v tomto článku uveden, aby byly ověřeny parametry, které zde byly uvedeny. Anténa byla namodelována na substrátu Rogers 5880, s relativní permitivitou  $\epsilon_r = 2,2$ , ztrátovým činitelem  $\tan \delta = 0,009$  a tloušťkou  $t = 0,787$  mm. Vodivá část byla tvořena mědí o tloušťce 0,035 mm. Tato anténa byla navržena pro pásmo 921 MHz [3]. Rozměry antény bylo tedy nutné upravit pro evropské pásmo, které je na frekvenci 865-868 MHz. Bylo zapotřebí velikost antény z důvodu nižší pracovní frekvence zvětšit. Samozřejmě nejdříve byla provedena simulace původní antény, aby bylo zjištěno, zda opravdu rezonuje na frekvenci 921 MHz. Rozdíl od informace v článku [3] nebyl velký, takže nic nebránilo k předělání návrhu pro využití antény pro účely této práce.

Navrhnutá anténa, jak již bylo zmíněno má vzhledem k nižší frekvenci vyšší rozměry. Byla provedena také změna substrátu, místo použitého substrátu byl využit 3D textil, který bude vhodnější díky svým ohebným vlastnostem pro aplikaci na autosedačku. Relativní permitivita 3D textilu je rovna  $\epsilon_r = 1,2$ , jeho ztrátový činitel  $\tan \delta = 0,002$  a jeho tloušťka použitá pro simulace je 3,4 mm. Jako vodivý materiál byla opět použita měď stejného rozměru jako v případě originálního návrhu.

Na následujícím Obrázku 3.1, jsou zobrazeny jednotlivé rozměry antény a v Tabulce 3.1 je provedeno srovnání rozdílů jednotlivých rozměrů antény.



Obrázek 3.1 Rozměry navržené antény – převzato z [3].

Tabulka 3.1 Porovnání rozměrů antény pro různé frekvence a materiál substrátu.

Materiál	Roger 5880	3D textil
Frekvence	921 MHz	867 MHz
Rozměry	mm	mm
a	2	2,23
b	9	10,8
c	1	1,1
d	6,3	6,36
e	5,1	5,29
f	10,5	12,2
g	9,1	10,02
h	24	26,45
v	43	47,379
w	26	28,65
x	10	13
y	8	9,5

### 3.3 Buzení antény

Buzení antény bylo provedeno pomocí diskretního portu, ke kterému byl do série zapojen element (V CST Microwave studiu – Discrete port a Lumped element). Toto bylo provedeno z toho důvodu, že diskretní port umí budit pouze reálnou složku impedance. Ovšem čipy, které se používají v technologii RFID, mají jak reálnou složku, tak

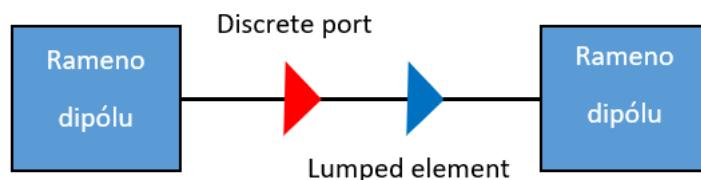
imaginární, která je výrazně vyšší. Z toho důvodu byl použit element, který pomáhá simulovat případ, kdy je k anténě připojen čip. Čipy mívají zápornou imaginární složku, jsou kapacitního charakteru, pro praktickou část bude použit integrovaný obvod SL 900A o kterém jsou informace uvedeny v teoretické části.

Pro potřeby simulace antény byl použit čip SL 900A, s impedancí uvedenou v [13]. Čip má impedanci  $Z = 123 - j303 \, \Omega$ . Ze záporné reaktance čipu můžeme vypočítat kapacitu podle:

$$C_{LE} = -\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_C}, \quad (3.1)$$

kde  $X_C$  je reaktance čipu a  $f$  je rezonanční frekvence.

Vypočítaná kapacita je využita pro definování Lumped elementu. Výsledné zapojení buzení lze vidět na následujícím Obrázku 3.2.

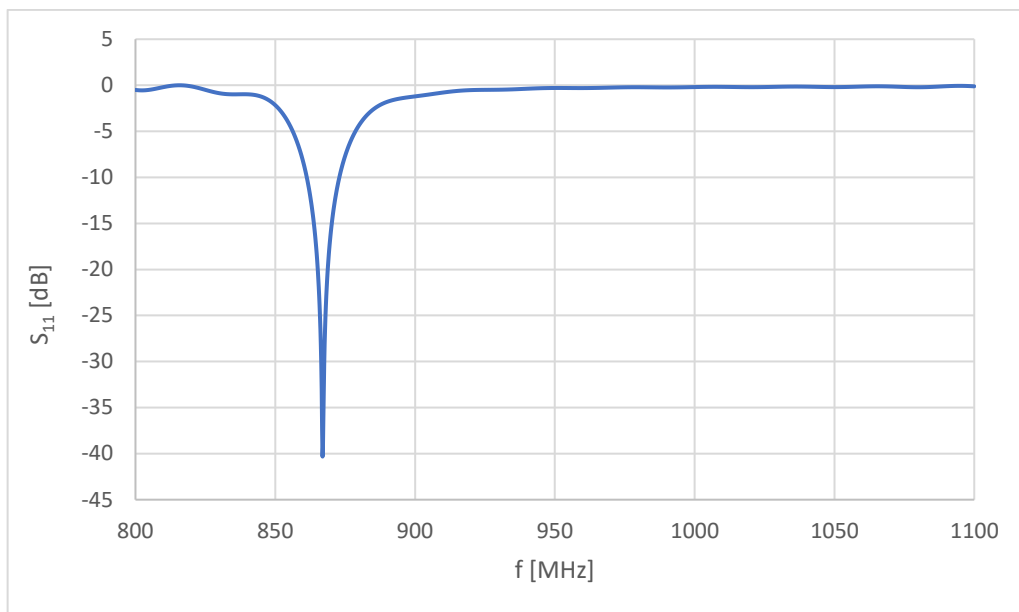


Obrázek 3.2 Schéma zapojení buzení pro simulaci.

### 3.4 Simulace RFID tagu

Simulace navržené antény byla provedena v časovém solveru CST Microwave studia. Rozmítání bylo nastaveno na frekvence 800–1100 MHz. Mezi ramena antény byl připojen diskretní port s elementem (Obrázek 3.2), který prováděl funkci čipu. Byla provedena simulace činitele odrazu na vstupu antény a vyzařovací charakteristiky.

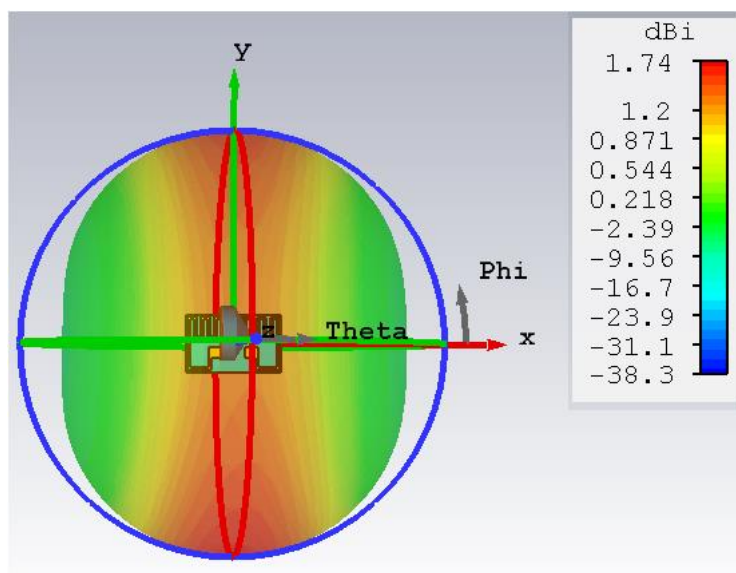
Nejdříve byl simulací ověřen činitel odrazu na vstupu antény, aby bylo zjištěno, zda je anténa dobře přizpůsobena, a na jaké frekvenci rezonuje.  $S_{11}$  parametr dosahoval výborné hodnoty přizpůsobení,  $S_{11} = -40,3 \text{ dB}$ , rezonanční frekvence je 867 MHz. Šířka pásma navržené antény je 10 MHz, což naprosto pokryje pásmo evropské pásmo UHF, na kterém RFID pracuje (860–870 MHz). U simulace byl zvolen adaptivní mesh, to znamená, že se počet buněk přizpůsobil jednotlivým částem antény, aby byl ve všech částech antény dostatečný počet buněk a simulace byla co nejpřesnější. Simulovaný činitel odrazu je možné vidět na následujícím Obrázku 3.3.



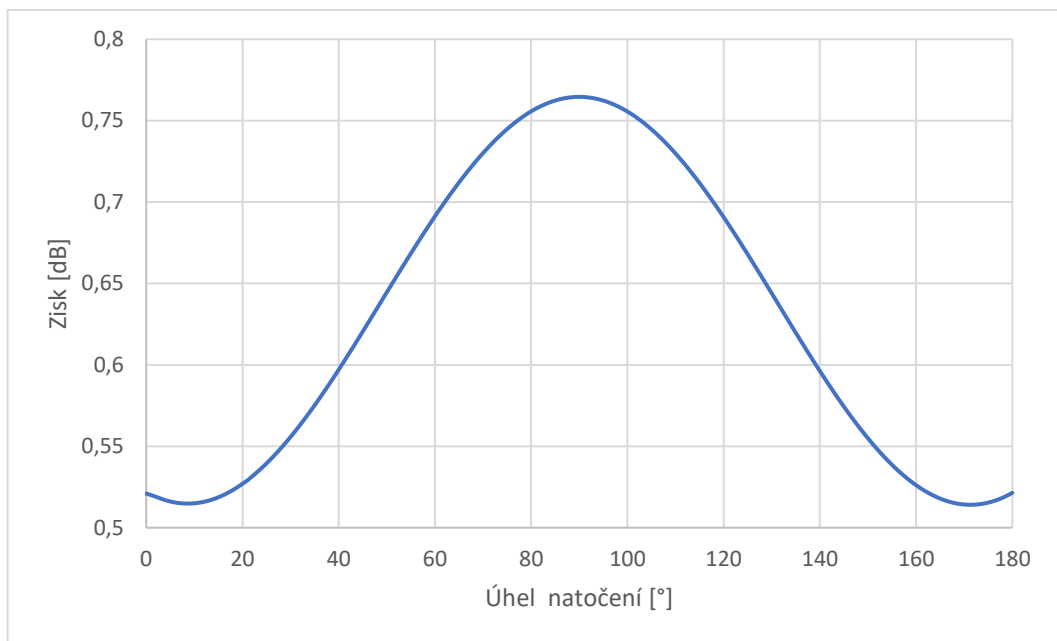
Obrázek 3.3 Činitel odrazu navržené antény.

Dalším zjištěným parametrem byla účinnost antény, která se v rezonanci dostala na hodnotu 0,81.

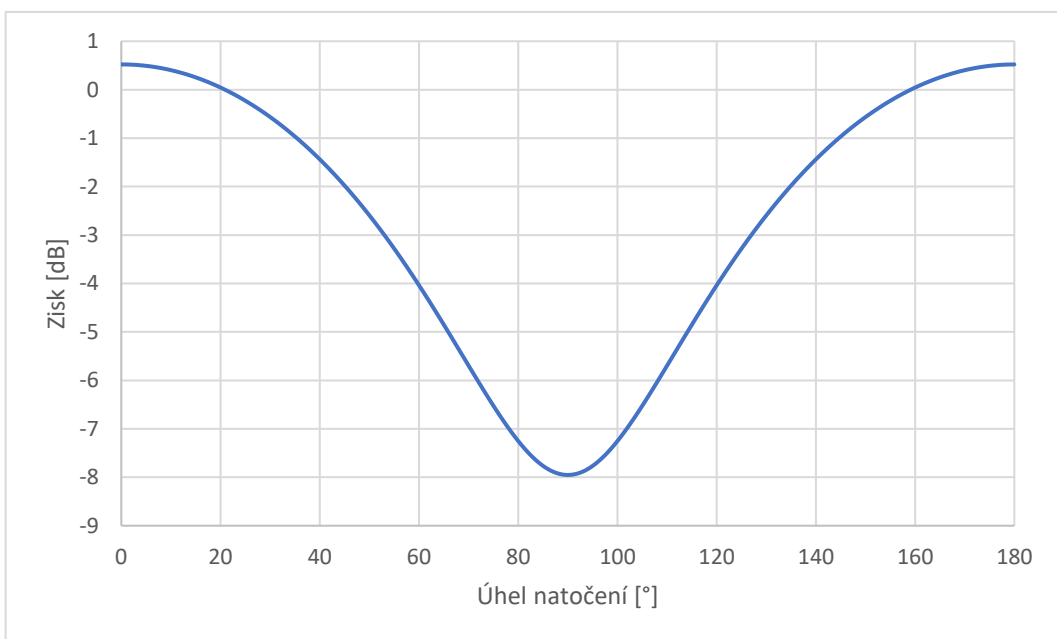
Vyzařovací charakteristiky antény potvrdily očekávání. Směrovost antény odpovídá dipólu (Obrázek 3.4, 3.5 a 3.6), maximální hodnota směrovosti ve směru šíření je 1,74 dBi.



Obrázek 3.4 Směrovost antény.

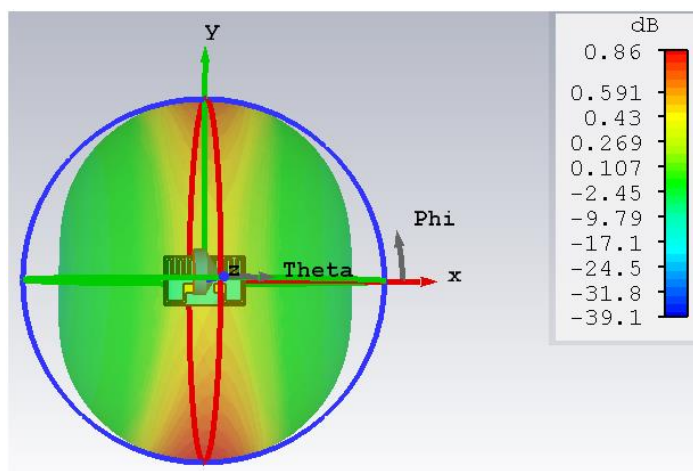


Obrázek 3.5 Směrová charakteristika v rovině yz, Phi 90°.



Obrázek 3.6 Směrová charakteristika v rovině xz, Phi 0°.

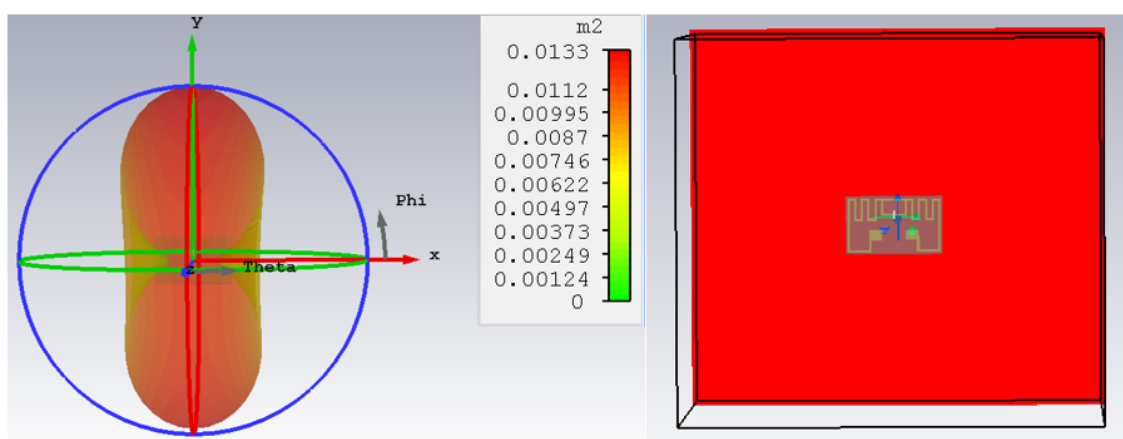
Absolutní zisk ve směru šíření dosahoval maximální hodnoty 0,76 dB (Obrázek 3.7).



Obrázek 3.7 Zisk antény.

### 3.5 Simulace RCS

U tagu byla provedena simulace radar cross-section (RCS). Vlastnosti a využití RCS je popsáno na začátku práce. Tato simulace je provedena pomocí možnosti ozařování rovinnou vlnou v CST Microwave studiu. Pomocí rovinné vlny bylo provedeno ozařování z různých úhlů. Hodnota RCS dosahovala maximálních hodnot ve směrech, kterými vyzařuje anténa. Nejlepších výsledků RCS anténa dosahuje při ozáření vlnou na co největší plochu (Obrázek 3.8), v tomto případě je maximální hodnota RCS 0,0133 m<sup>2</sup>, čím větší hodnoty je dosaženo, tím větší je šance detekovat anténu, protože anténa dosahuje nejvyšší odrazivosti, naopak ve směrech, kam anténa nevyzařuje, dosahuje hodnota RCS minimálních hodnot.



Obrázek 3.8 Výsledek simulace RCS – vlevo, směr ozáření antény rovinnou vlnou – vpravo.

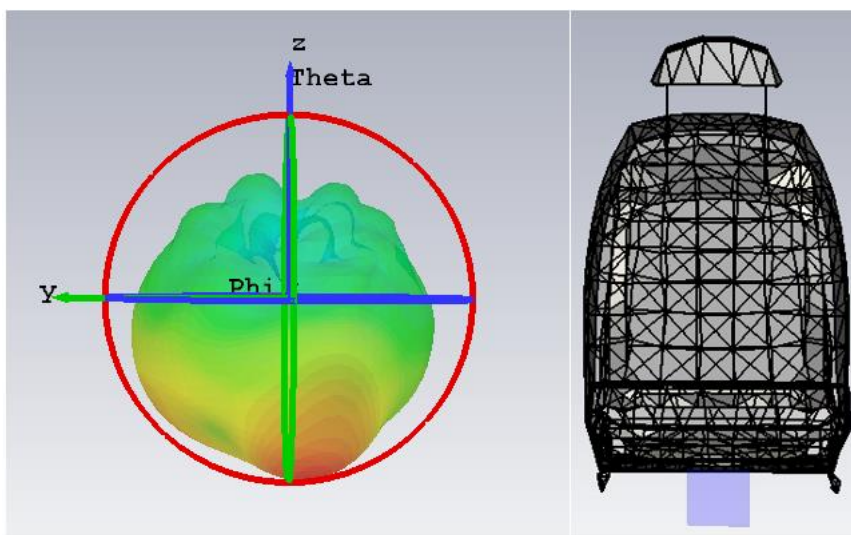


### 3.6 Vyzařovací vlastnosti antény v blízkosti autosedačky

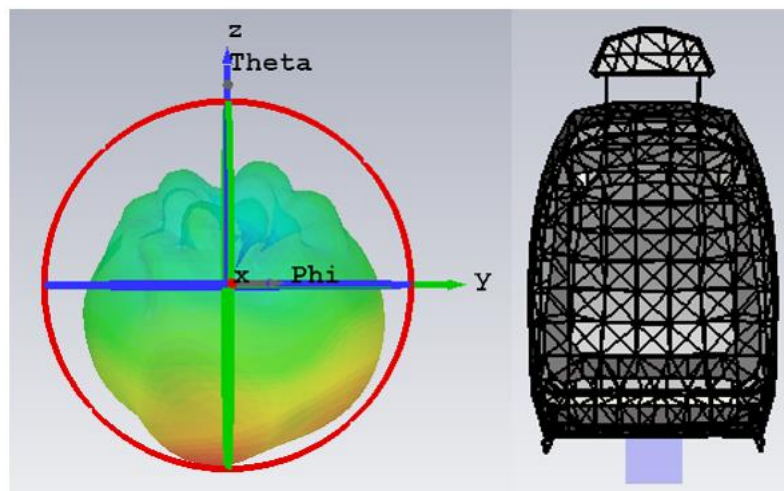
Vzhledem k tomu, že bude anténa integrována do sedadla automobilu, byly provedeny simulace vlivu sedadla na vyzařování antény. Kdyby byla anténa simulována na sedačce, doba trvání simulace by byla velice vysoká. Pro snížení doby simulování byla simulace provedena následujícím způsobem, kterým byl čas simulace výrazně zkrácen. U namodelované antény byla provedena simulace (field source), výsledek této simulace způsobil, že jsme mohli anténu použít jako zdroj záření. Tento zdroj záření měl stejné vyzařovací vlastnosti, jako když byla provedena simulace pro vyzařovací vlastnosti antény. K sedačce byl tedy namísto samotné antény, která by výrazně zvýšila počet buněk pro simulaci, vložen pouze tento zdroj záření.

Vliv autosedačky na vyzařování antény byl simulován na čtyřech pozicích, aby bylo provedeno srovnání, na kterém místě je anténa nejméně ovlivněna sedačkou. Nejvíce sedadlo ovlivňuje anténu v případě umístění antény zespodu sedadla (Obrázek 3.8), lepších výsledků bylo dosaženo při simulaci antény zezadu na zádové opěrce, ale při umístění čtečky na palubní desce by zde nebyla šance na čtení tagu. Nejlépe se jevílo umístění z boku na hlavové opěrce a také na boku zádové opěrky. V následujícím textu je provedeno srovnání nejhoršího a nejlepšího případu.

Nejhorší umístění antény na autosedačku je zespodu sedadla (Obrázek 3.9) (Obrázek 3.10). V této pozici se veškeré záření odrazí do země, z toho důvodu, že přímo nad anténou je spodní kovová konstrukce sedadla, která veškeré záření odrazí. Toto umístění není vhodné i z důvodu, že sedadlo automobilu bývá umístěno velice blízko podlaze, a proto zkoušet připevnit anténu na toto místo je velice nepraktické.

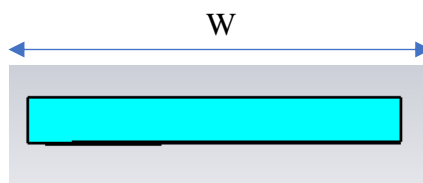


Obrázek 3.9 Vyzařování antény umístěné zespodu sedadla (pohled zepředu).



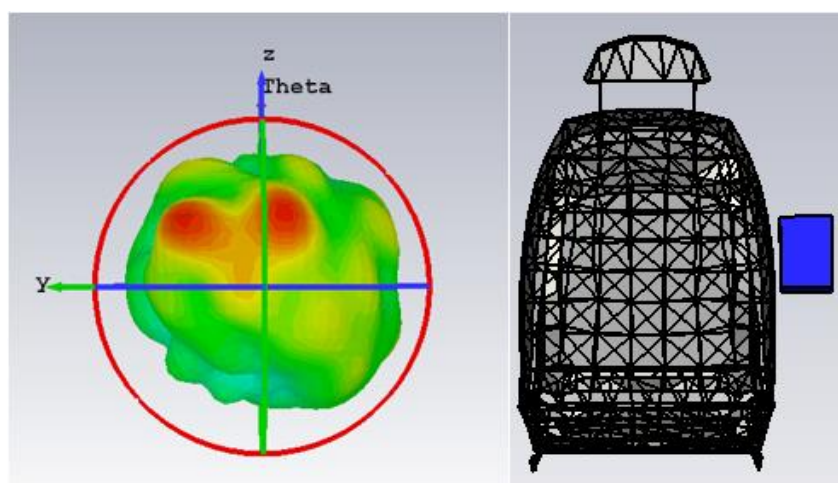
Obrázek 3.10 Vyzařování antény umístěné zespodu sedadla (pohled zezadu).

Anténa je na sedadle umístěna v následující pozici, pohled zepředu sedadla (Obrázek 3.11)

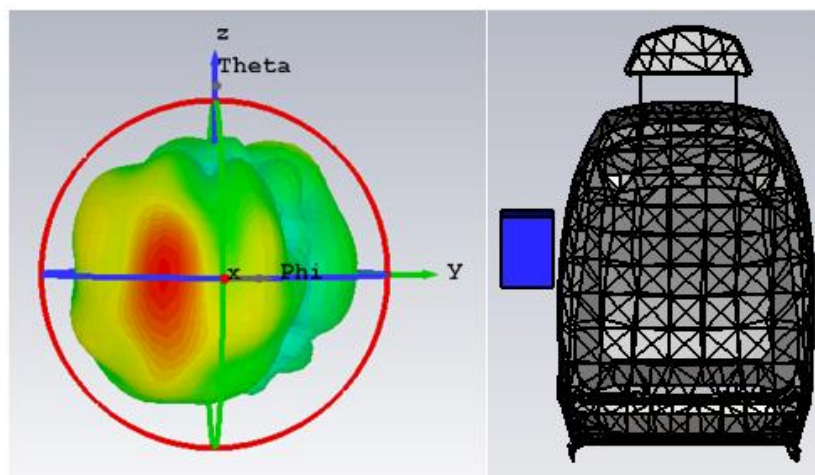


Obrázek 3.11 Pozice antény umístěné pod sedadlem, rozměr W podle Obrázku 3.1.

Vhodnými pozicemi, jak již bylo zmíněno je umístění antény buď na hlavovou nebo zádovou opěrku. Zde je ukázán případ připevnění na zádové opěrci z pohledu zepředu (Obrázek 3.12) a z pohledu zezadu (Obrázek 3.13). Samozřejmě i v tomto případě je vyzařování ovlivněno sedadlem, ale vyzařování se nejvíce podobá záření při simulaci samotné antény.

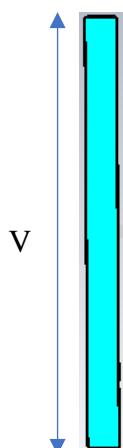


Obrázek 3.12 Vyzařování antény umístěné na boku sedadla (pohled zepředu).



Obrázek 3.13 Vyzařování antény umístěné na boku sedadla (zezadu).

Anténa je na sedadle umístěna v následující pozici, při pohledu na sedadlo zepředu (Obrázek 3.14).



Obrázek 3.14 Umístění antény na sedadle z boku, rozměr V podle Obrázku 3.1.

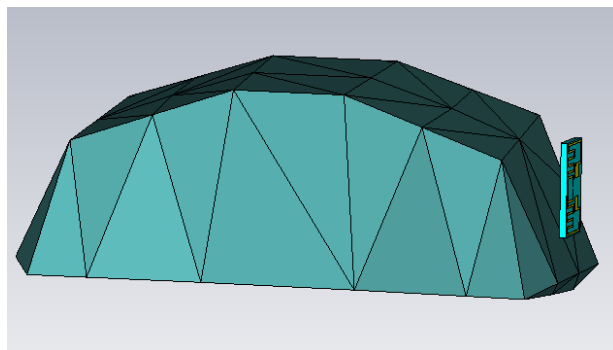
Vyzařování antény v tomto případě odpovídá anténě simulované samostatně. Samozřejmě ne ve všech místech vyzařování ale poloha vyzařování maxima přibližně odpovídá vyzařování samostatně vyladěné antény.

Anténa by samozřejmě mohla být umístěna na druhé straně sedadla, v této provedené simulaci odpovídá její umístění sedadlu spolujezdce, v případě přesunutí antény na druhou stranu by se pouze vyzařovací charakteristika zrcadlově převrátila.

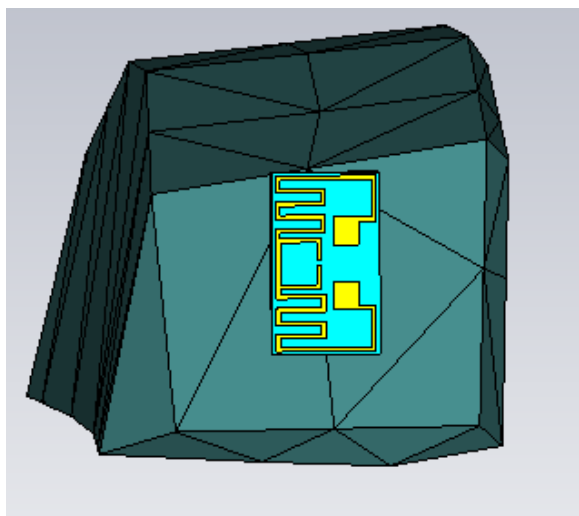
Z provedení simulací se sedadlem je tedy jasné, že anténa bude pravděpodobně umístěna na boční straně sedadla.

### 3.7 Přizpůsobení antény k hlavové opěrce

Podle předešlých simulací byla zvolena pozice antény na hlavové opěrce, ke které byla pomocí simulací anténa přizpůsobena. Pro zrychlení výpočtu byla anténa simulována pouze s pěnovou částí hlavové opěrky, bez kovové výztuže tudíž přizpůsobení není úplně přesné, ale pro ověření vlastností antény v této práci, je tato simulace dostatečná. Opěrka byla simulována s relativní permitivitou 2,1. Anténa byla tedy umístěna na model hlavové opěrky z boku, což lze vidět na Obrázcích 3.15 a 3.16.



Obrázek 3.15 Model hlavové opěrky a umístění antény v programu CST.



Obrázek 3.16 Umístění antény na hlavové opěrce (pohled z boku).

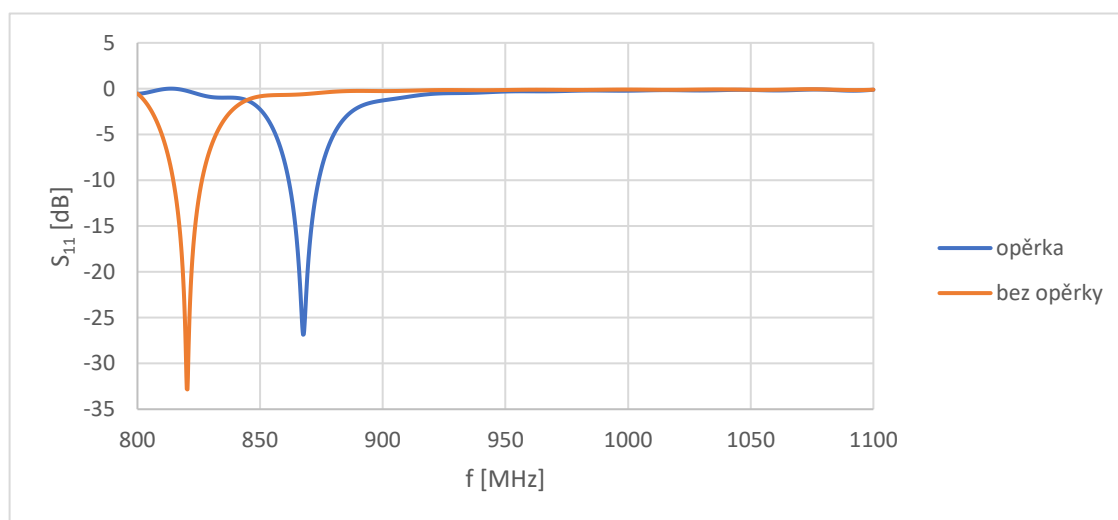
Nejprve byla simulována anténa s původními rozměry přizpůsobenými k čipu ve volném prostoru a na frekvenci 867 MHz. Podle očekávání došlo ke zhoršení činitele odrazu a k posunu kmotočtu na vyšší frekvence. Anténě byly tedy změněny rozměry a byla přizpůsobena zpět na frekvenci 867 MHz, změnu rozměrů lze vidět v následující tabulce, kde je provedeno srovnání s rozměry, které měla anténa na 867 MHz ve volném prostoru. Rozměry uvedené v Tabulce 3.2 korespondují s rozměry, které jsou ukázány již na dříve zmiňovaném Obrázku 3.1.

Tabulka 3.2 Porovnání rozměrů antény pro různé frekvence a materiál substrátu.

Umístění	Volný prostor	Hlavová opěrka
Frekvence	867 MHz	867 MHz
Rozměry	mm	mm
a	2,23	2,381
b	10,8	12
c	1,1	1,1
d	6,36	7,5
e	5,29	6,5
f	12,2	12,1
g	10,02	10,02
h	26,45	26,45
v	47,379	48,01
w	28,65	28,65
x	13	13,3
y	9,5	10,8

Z tabulky lze tedy vidět, že se zvětšil celkový rozměr antény, řádově ale pouze o několik desetin milimetru, zvětšila se také výška meandrů i jejich šířka. Došlo také ke zvětšení kapacitních zakončení. Dále pak ke zvětšení rozměrů přizpůsobovacího vedení.

Byla provedena simulace činitele odrazu a následně byla provedena simulace antény s takto upravenými rozměry bez hlavové opěrky a výsledky lze vidět na následujícím grafu (Obrázek 3.17)

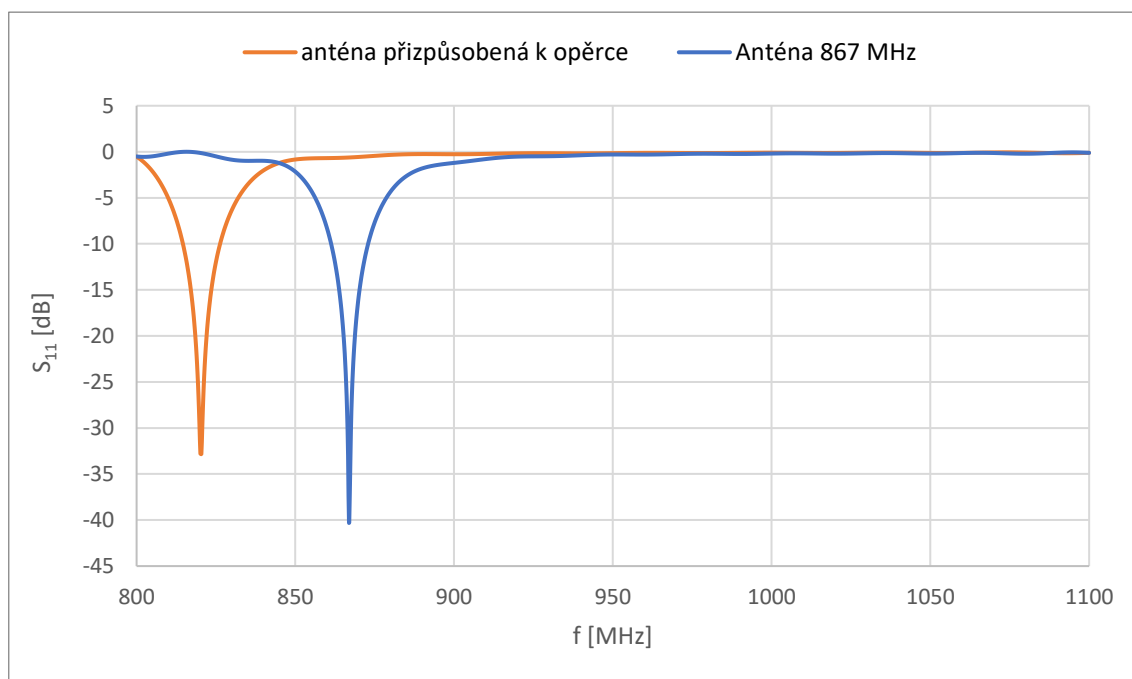


Obrázek 3.17 Činitel odrazu na vstupu antény s opěrkou hlavy a bez opěrky.

Z grafu lze vidět, že anténa je přizpůsobena rozměry k hlavové opěrce, modrá křivka tedy ukazuje, že anténa rezonuje na frekvenci 867 MHz a činitel odrazu dosahuje hodnoty -27 dB. Při vložení takto přizpůsobené antény do volného prostoru, bylo zjištěno, že

anténa rezonuje na frekvenci 820 MHz a činitel odrazu dosahuje hodnoty -33 dB.

Na dalším grafu můžeme vidět srovnání činitele odrazu antény přizpůsobené na 867 MHz a antény přizpůsobené k sedadlu. Obě křivky jsou při simulaci antén ve volném prostoru.



Obrázek 3.18 Porovnání antény přizpůsobené k sedadlu a antény přizpůsobené na 867 MHz bez sedadla (obě antény ve volném prostoru).

## 4 VÝROBA A MĚŘENÍ ANTÉNY

Tato poslední kapitola seznamuje s výrobou antény, jakým způsobem byla zkonstruována, a její chystání na měření. Dále je v této kapitole popsáno měření antény, jakým způsobem se dá anténa přizpůsobit k měření pomocí spektrálního analyzátoru, jsou zde zhodnoceny výsledky měření činitele odrazu antény bez sedadla a se sedadlem automobilu. Dalším bodem měření bylo změření směrové charakteristiky, které je v této kapitole také zhodnoceno.

### 4.1 Výroba antény

Zhotovena byla anténa navržená pro volný prostor, která rezonuje na frekvenci 867 MHz, aby bylo možné zhodnotit jednotlivé vlivy na anténu.

Pomocí CST microwave studia byl vygenerován gerberový soubor vodivé vrstvy antény.

Podle takto vygenerovaného gerberového souboru, byla ve školní dílně zhotovena šablona, podle které byl vzor antény vyleptán na měděnou fólii, na které je ze spodní strany umístěno vodivé lepidlo.

Jako substrát pro anténu byl použit již dříve zmiňovaný 3D textil, jehož tloušťka je 3,4 mm, relativní permitivita 1,2 a ztrátový činitel  $\tan \delta = 0,002$ .

Samotné nanesení měděného vzoru na 3D textil bylo provedeno následovně. Nejprve bylo nožem odděleno lepidlo, které se nacházelo kolem vzoru antény, tak aby zde nezůstaly žádné zbytky, které by mohly kvůli své vodivosti ovlivnit parametry antény. Následně byl ze zbytku fólie ořezán obdélník s motivem antény, který byl přelepen papírovou páskou, aby nedošlo ke zkroucení vzoru po jeho odlepení od krycího listu papíru, na kterém je měděná fólie uchycena před jejím nalepením na požadovaný substrát. Ze vzoru antény po tomto opatření byl tento krycí papír odstraněn a vzor zůstal nalepený na papírové lepicí pásce, a mohl být tak snadno přenesen na 3D textil. Po nalepení vzoru na substrát byla stržena papírová páska. Výsledný vzhled antény lze vidět na následujícím Obrázku 4.1.



Obrázek 4.1 Vyrobená anténa.



Takto zhotovená anténa by byla připravena pro připojení čipu a bylo by s ní možné provést RFID měření, za úkol bylo ovšem navrhnout anténu vhodnou pro integraci do sedadla antény a změřit její činitel odrazu na vstupu, ve volném prostoru a následně jej změřit na sedadle automobilu, pote na sedadle s člověkem. Každá tato změna ovlivní rezonanci antény a její přizpůsobení.

Vzhledem k tomu, že spektrální analyzátor, kterým se provádí měření činitele odrazu má impedanci vstupních portů  $50 \Omega$  a vyrobená anténa má po přizpůsobení k čipu impedanci  $123+j303 \Omega$ , je potřeba provést impedanční přizpůsobení pro měření. Bohužel z časových důvodů se toto přizpůsobení nestihlo zrealizovat. Byla tedy provedena simulace antény s připojením koaxiálního vedení, samozřejmě napájení vyrobené antény je symetrické a napájení koaxiálním vedením je nesymetrické, což způsobí nepřizpůsobení antény a změni vlastnosti antény, ale pro ověření funkčnosti antény a zjištění vlivu všech zmíněných aspektů na anténu je dostačující. V případě více času na zpracování by bylo navrženo a sestaveno přizpůsobovací vedení, které bude rozebráno v následující podkapitole. Výsledky měření s koaxiálním vedením, pak budou zhodnoceny v následujících podkapitolách, kde budou porovnány výsledky měření činitele odrazu a výsledky měření směrovosti antény.

## 4.2 Přizpůsobovací vedení

Anténu je možné na impedanci  $50 \Omega$  přizpůsobit několika způsoby. Možné varianty přizpůsobení můžou být například přizpůsobení pomocí součástek, mikropáskové struktury, nebo pomocí pahýlu z vedení.

Pro nepříliš snadnou realizaci pahýlu pomocí koaxiálního vedení, by bylo pravděpodobně nejlepší možné řešení přizpůsobit anténu k vektorovému analyzátoru pomocí součástek případně, pomocí mikropáskového vedení. V obou případech by se jednalo buď o L-článek, případně  $\Pi$ -článek. U L-článu se bude jednat o kombinaci kondenzátoru a cívky a u  $\Pi$ -článu to budou dva kondenzátory a jedna cívka. Varianta se dvěma cívkami by byla obtížnější, protože cívka je ovlivněna parazitními vlastnostmi a nebyla nalezena cívka pro potřebnou frekvenci, musela by být tedy vyrobena, proto je použita varianta s pouze jednou cívkou.

Návrh přizpůsobení by se prováděl pomocí Smithova diagramu. Kdy je potřeba nejdříve převést impedanci na normovanou impedanci a poté ji zanést do Smithova diagramu. Ze kterého získáme normované hodnoty součástek, ze kterých pak můžeme vypočítat reálné hodnoty, ze kterých bude sestaveno přizpůsobovací vedení.

Normovaná impedance se vypočítá jako:

$$z = \frac{Z}{Z_0}, \quad (4.1)$$

kde  $Z$  je impedance, která má být převedena na normovanou impedanci, a  $Z_0$  charakteristická impedance vedení.



Po nalezení zapojení a zjištění normovaných hodnot susceptancí a reaktancí ve Smithově diagramu je zapotřebí vypočítat reálné hodnoty součástek. To se provede pomocí následujících vztahů:

Cívka sériově:

$$L_s = \frac{X}{2\pi f}. \quad (4.2)$$

Cívka paralelně:

$$L_p = \frac{1}{2\pi f B}. \quad (4.3)$$

Kapacita sériově:

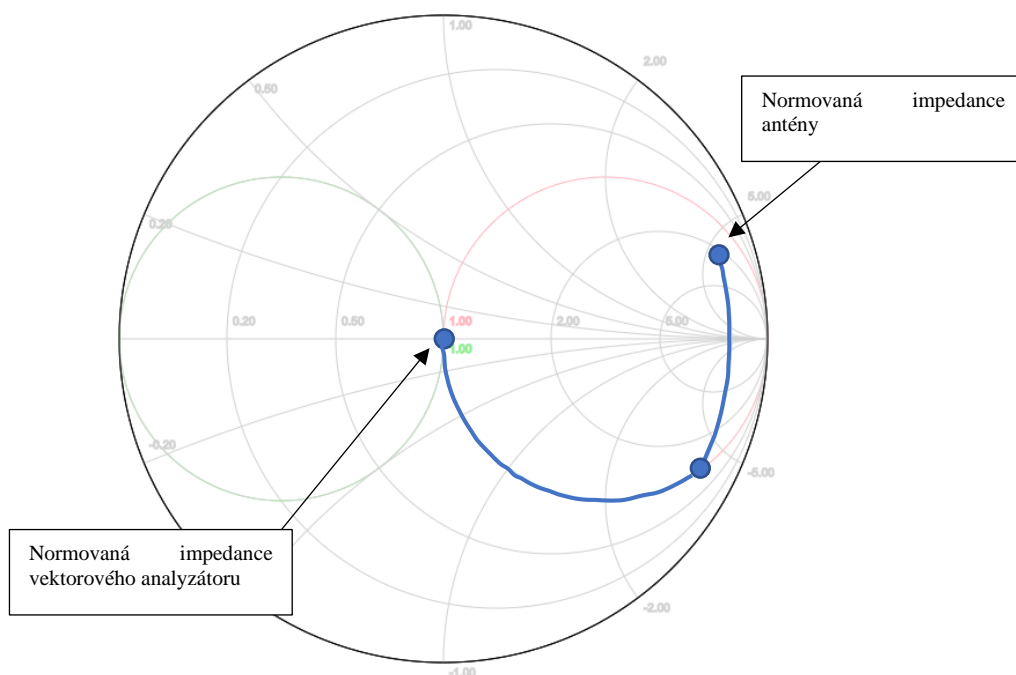
$$C_s = \frac{1}{2\pi f X}. \quad (4.4)$$

Kapacita paralelně:

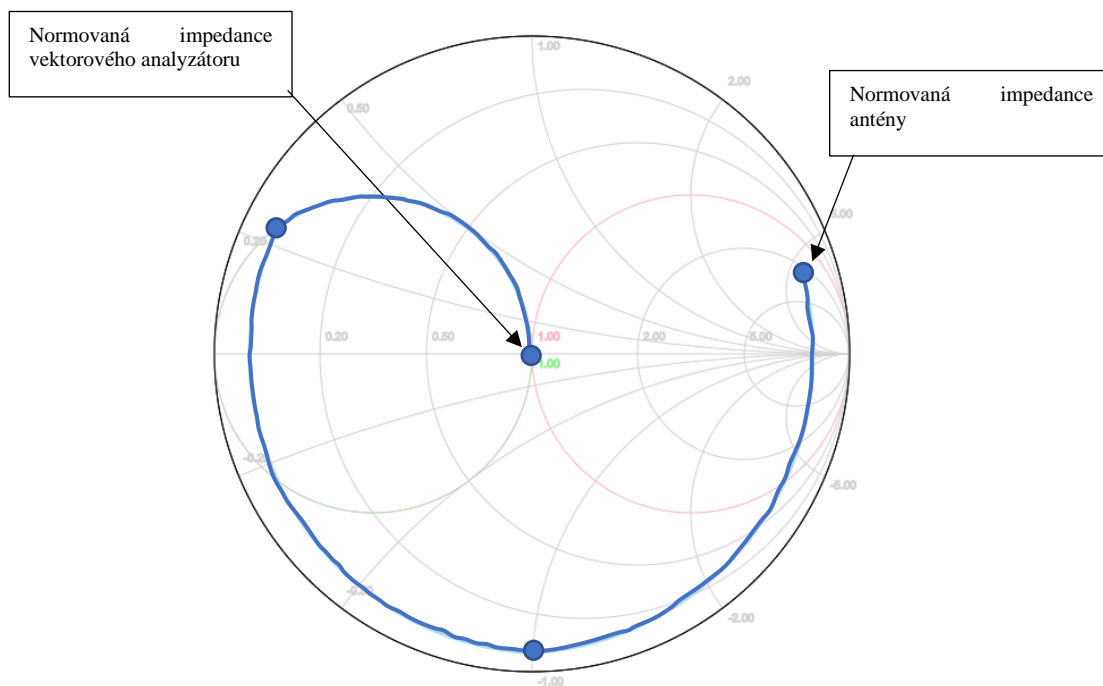
$$C_p = \frac{B}{2\pi f}, \quad (4.5)$$

kde  $B$  je susceptance,  $X$  reaktance a  $f$  pracovní frekvence. Před použitím těchto vzorců je potřeba provést odnormování hodnot, které byly získány pomocí Smithova diagramu.

V případě přizpůsobení antény v této práci by vyhledání zapojení ve Smithově diagramu vypadalo následovně pro L-článek (Obrázek 4.2) a pro  $\Pi$ -článek (Obrázek 4.3)



Obrázek 4.2 Zapojení L-článku (Analyzátor-sériová indukce-paralelní kapacita-anténa).



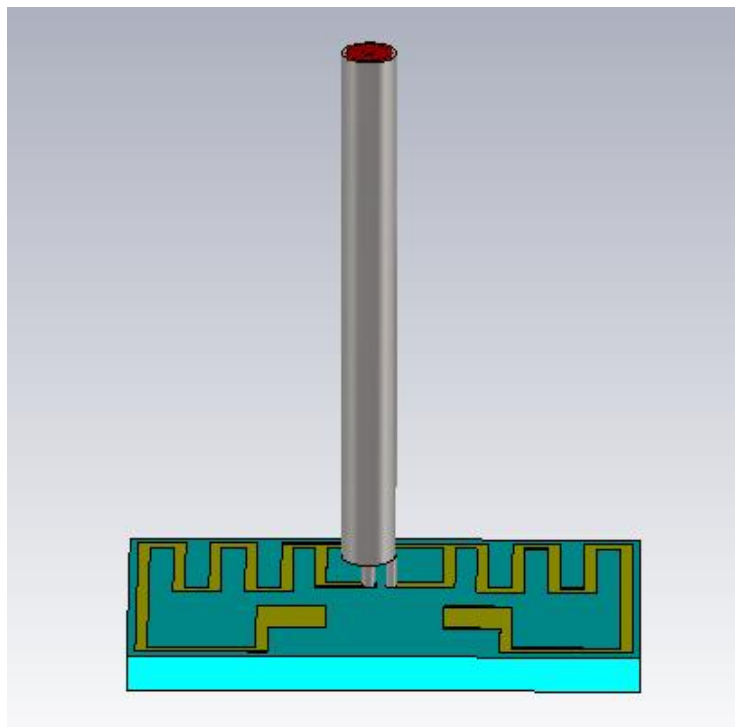
Obrázek 4.3 Zapojení  $\Pi$ -člátku (Analyzátor-paralelní kapacita-sériová indukce-paralelní kapacita-anténa).

V případě realizace klasickými součástkami by se následně z těchto normovaných hodnot vypočetly hodnoty reálné. Pokud bychom přizpůsobení realizovali pomocí mikropásků, musely by být vypočteny z reálných hodnot ještě velikosti jednotlivých vedení, které by odpovídaly velikostem součástek.

### 4.3 Měření antény s koaxiálním kabelem

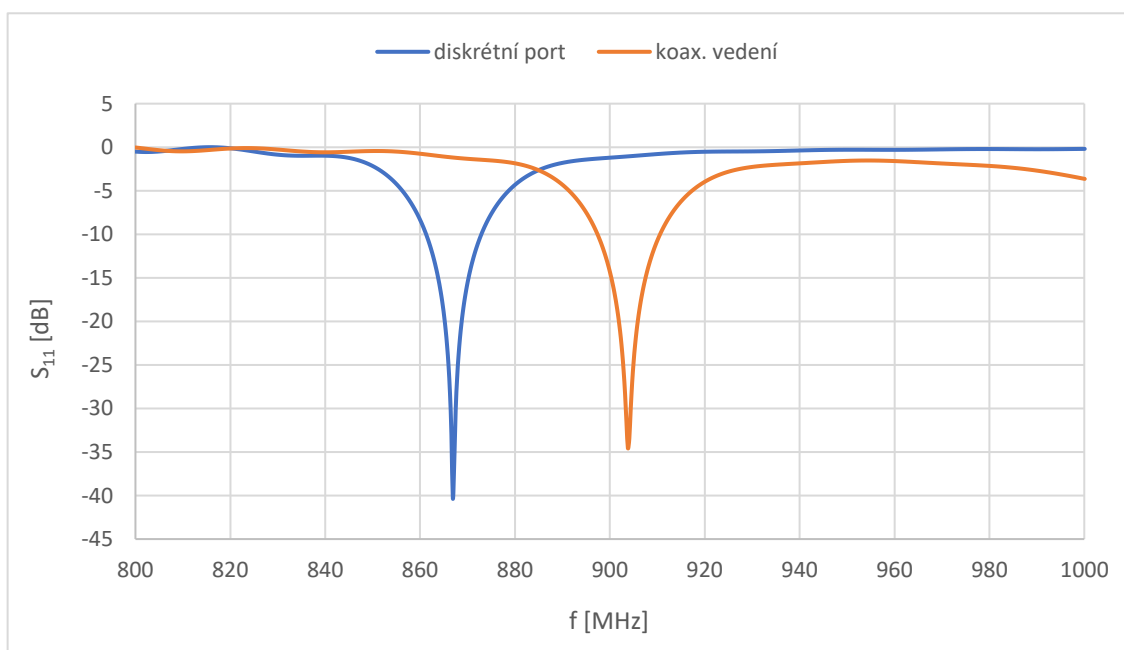
Jak již bylo zmíněno, pro ověření funkčnosti antény, byla anténa oživena a proměřena s koaxiálním kabelem o impedanci  $50 \Omega$ , z čehož je patrné, že anténa nebude přizpůsobena na požadovanou frekvenci 867 MHz.

K anténě byl tedy nejprve připojen koaxiální kabel v programu CST microwave studio a byl ověřen vliv tohoto kabelu na vlastnosti antény. Vnitřní vodič koaxiálního kabelu byl připojen na jedno rameno a druhé rameno na plášť koaxiálního kabelu (Obrázek 4.4), toto zapojení není správné, jak již bylo zmíněno a efekt koaxiálního kabelu je nežádoucí a způsobí změnu rezonančního kmitočtu, zkreslení vyzařovacího diagramu a zvyšuje ztráty v napáječi, bohužel z časových důvodů bylo toto opatření nezbytné, aby bylo možné zjistit, zda anténa funguje.



Obrázek 4.4 Připojení koaxiálního vedení k anténě.

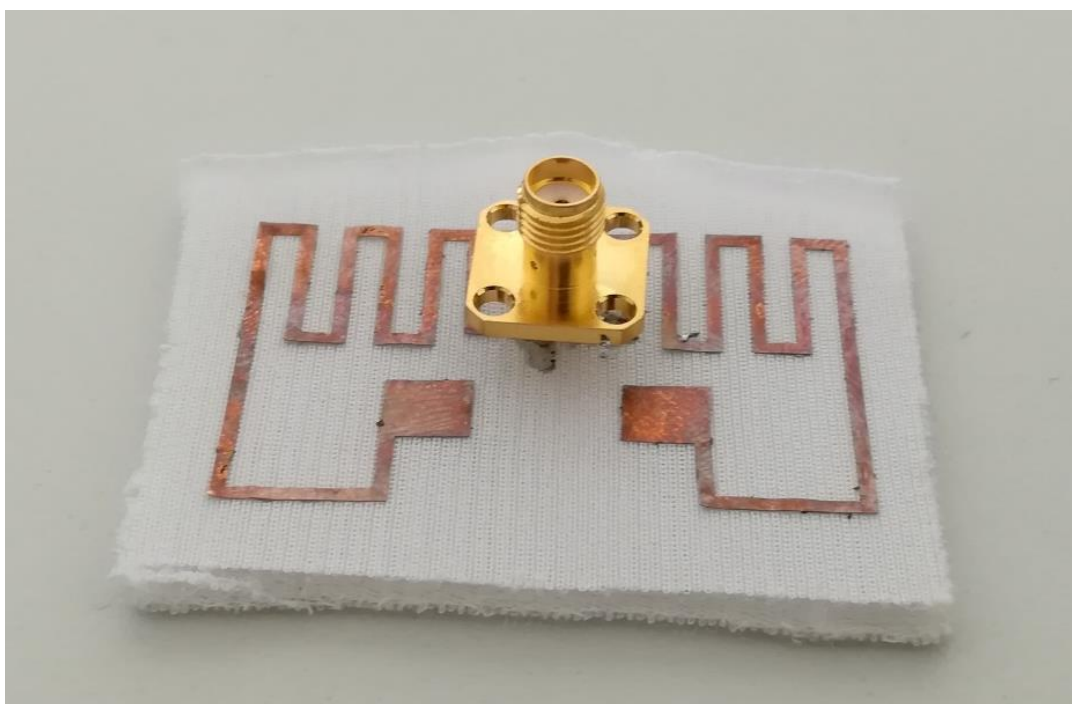
Simulace s koaxiálním vedením byla provedena opět v programu CST microwave studio v rozsahu frekvencí 800–1000 MHz. Výsledek simulace lze vidět v grafu (Obrázek 4.5), kde je také provedeno srovnání průběhů činitele odrazu u antény napájené diskretním portem s lumped elementem, a když je anténa napájena pomocí koaxiálního vedení.



Obrázek 4.5 Srovnání činitele odrazu při napájení diskretním portem a koax. vedením.

Z grafu je patrné, že oproti napájení diskretním portem v sérii s lumped elementem o impedanci čipu, a tedy perfektnímu přizpůsobení, dojde při napájení koaxiálním vedením o impedanci  $50\ \Omega$  k posuvu rezonančního kmitočtu. Anténa nyní rezonuje na frekvenci 904 MHz a došlo ke zhoršení hodnoty činitele odrazu z hodnoty -40 dB na hodnotu -34,5 dB.

Po provedení této simulace byl k anténě tedy připájen konektor (Obrázek 4.6) a anténa byla podrobena měření.

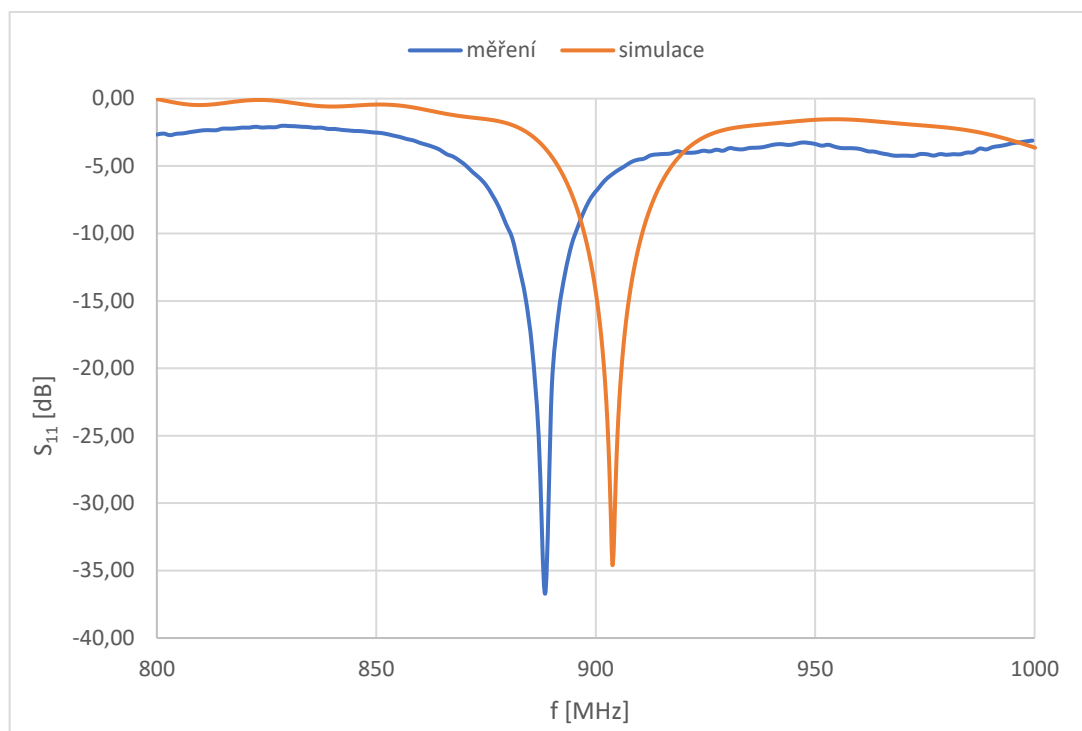


Obrázek 4.6 Anténa připravená k měření.

#### 4.3.1 Měření činitele odrazu samostatné antény

Měření činitele odrazu bylo provedeno pomocí vektorového obvodového analyzátoru R&S ZVL, který je nutno před samotným měřením zkalibrovat pomocí kalibrační sady, aby bylo měření provedeno s co největší přesností. Měření bylo provedeno na frekvencích 800-1000 MHz.

Nejdříve bylo provedeno měření činitele odrazu ve volném prostoru bez autosedačky a bylo provedeno srovnání se simulací z CST MW studia (Obrázek 4.7).



Obrázek 4.7 Srovnání simulace a měření činitele odrazu.

Z grafu lze vidět, že oproti simulaci došlo k posunu rezonančního kmitočtu ze simulovaných 904 MHz, na frekvenci 889 MHz. Jedná se tedy o drobný posun o 15 MHz oproti výpočtu CST MW studia. Hodnota činitele odrazu se změnila velmi drobně, ze simulované hodnoty -34,5 dB na hodnotu -36,5 dB, tedy změna pouze o 2 dB.

#### 4.3.2 Měření činitele odrazu antény u sedadla automobilu

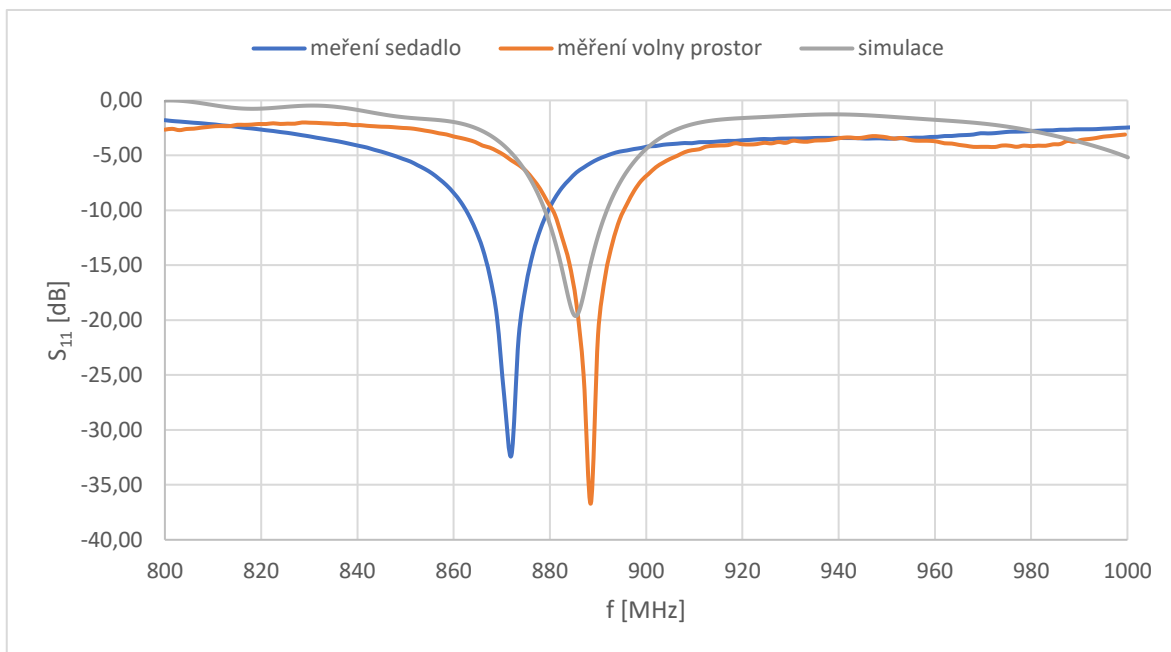
Další měření činitele odrazu antény bylo provedeno se sedadlem automobilu. Před měřením byla provedena kontrolní simulace s hlavovou opěrkou, ovšem bez vnitřní kovové konstrukce pro urychlení času simulace a anténou připojenou pomocí koaxiálního vedení, aby bylo možné srovnat výsledek měření a zhodnotit vliv sedačky na anténu oproti simulaci a také oproti měření činitele odrazu ve volném prostoru. Samotnému měření předcházela opět kalibrace vektorového obvodového analyzátoru.

Při měření byla anténa uchycena k hlavové opěrci sedačky. K měření byla použita přední sedačka z automobilu, která byla k dispozici na ústavu radioelektroniky. Na rozdíl od simulace, samozřejmě opěrka obsahovala kovové výztuže, pomocí kterých je hlavová opěrka přidělána ke zbytku sedadla. Sedadlo s anténou lze vidět na následujícím Obrázku 4.8.



Obrázek 4.8 Měření antény u sedadla automobilu.

Nejdříve byl změřen činitel odrazu antény umístěné na sedadle a poté byl změřen činitel odrazu s osobou sedící na sedadle. Výsledky lze vidět v grafu (Obrázek 4.9), kde je provedeno srovnání tří křivek. První křivka značí simulaci v programu CST s hlavovou opěrkou, druhá křivka ukazuje činitel odrazu změřený ve volném prostoru a poslední křivka zobrazuje činitel odrazu měřený s anténou přidělanou k autosedačce.



Obrázek 4.9 Měření činitele odrazu antény u sedadla automobilu.

Při měření činitele odrazu s osobou na sedadle nedošlo ke změně závislosti, tato křivka zde tedy není uvedena. Vliv člověka sedícího na sedadle není na anténu příliš velký a můžeme jej při návrhu antény zanedbat. Z grafu je možné konstatovat, že při integraci antény na sedadlo automobilu dojde ke snížení rezonančního kmitočtu oproti anténě ve volném prostoru. Došlo k rezonančnímu posunu o 15 MHz z původních 889 MHz na 872 MHz. Přizpůsobení antény se také zhoršilo, což lze sledovat na činiteli odrazu, který se z hodnoty -36,69 dB zhoršil na -32,30 dB.

Při porovnání naměřených hodnot se simulací lze pozorovat také posuv rezonanční frekvence na nižší kmitočet. Došlo k rezonančnímu posunu o 13 MHz z hodnoty simulace 885 MHz na naměřenou hodnotu 872 MHz. Na rozdíl od simulace při měření došlo ke zlepšení činitele odrazu z hodnoty -19,61 dB při simulaci na hodnotu -32,30 při měření. Tato výrazná změna může být způsobena tím, že při simulaci nebyly brány v potaz kovové tyče, které hlavová opěrka obsahuje a například i rozdílný materiál opěrky při simulaci, než z kterého je opěrka ve skutečnosti vyrobena.

Podle naměřených výsledků lze tedy říci, že program CST MW studio simuloval anténu velmi kvalitně, samozřejmě odchylky od simulací při reálném měření nastaly ale mnohem menší, než bylo očekáváno před měřením.

### 4.3.3 Měření směrové charakteristiky

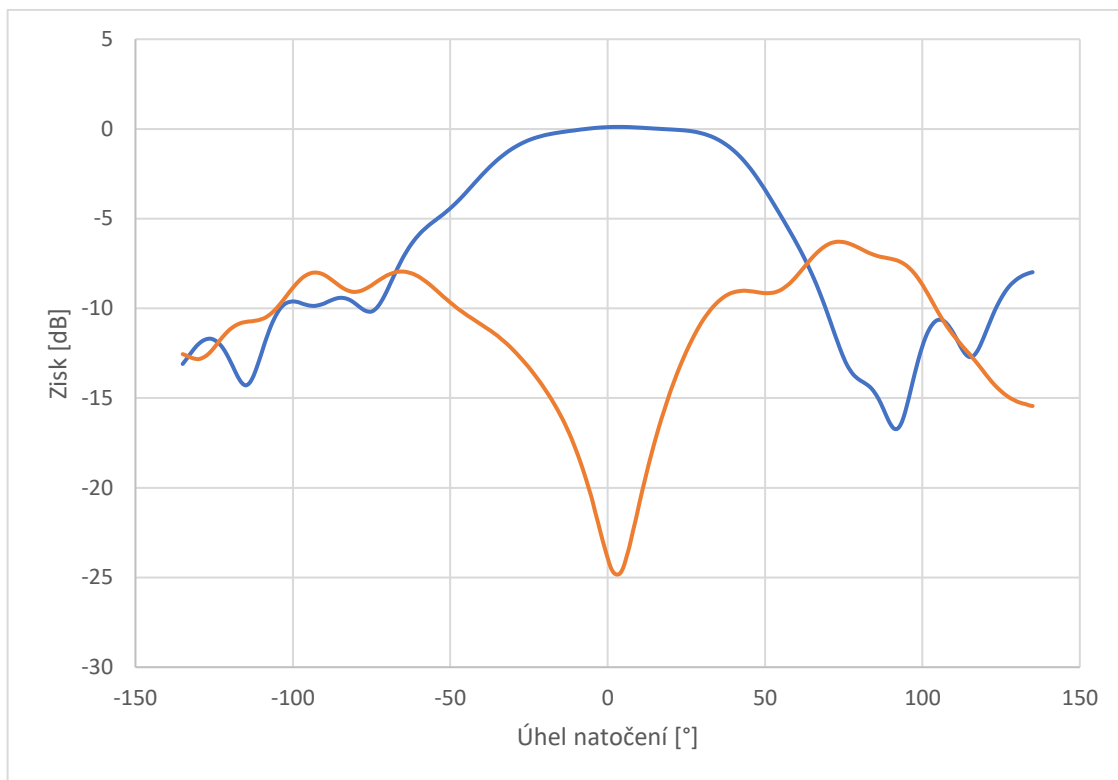
Měření směrové charakteristiky bylo provedeno v anténní komoře, jedná se často o stísněnou místnost, která zaručuje minimum rušení a umožňuje nám simulovat volný prostor. Tyto vlastnosti jsou docíleny pomocí obložení vnitřního povrchu absorpčním materiálem.

Nejčastěji je pro tento absorpční materiál použit pěnový materiál (tzv. polyuretan), který je sycený elektrovednými sazemi. Bývají použity absorbéry jehlanového tvaru, které pomáhají pohltit elektromagnetické vlny v širokém pásmu kmitočtů. Výška jehlanu určuje dolní kmitočet použitelného absorberu [14].

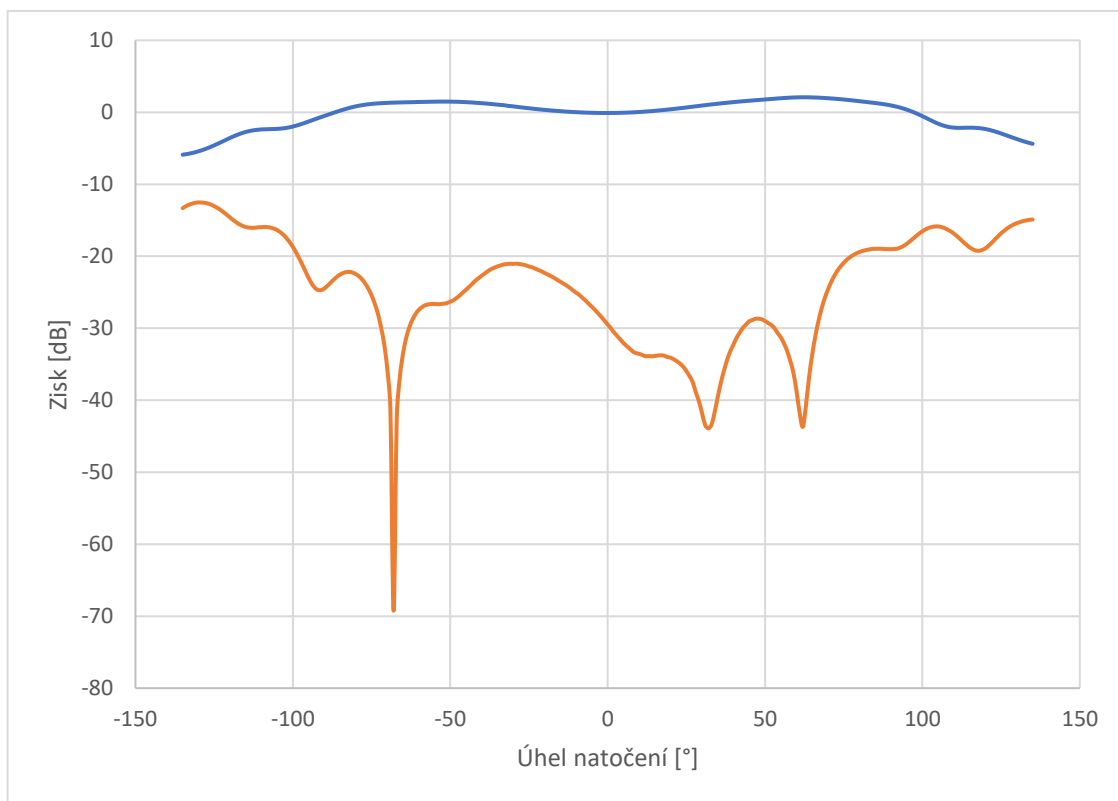
Pro měření byla anténa umístěna do pozicionéru, který umožňuje polohování antény. Naproti měřené anténě byla umístěna vysílací anténa. Samotné měření je automatické. Na počítači mimo komoru je nastavena frekvence, na které se bude směrová charakteristika měřit a měření poté provádí počítač, který vyhodnotí výsledky měření.

Vyzařovací charakteristika antény v této práci je ovlivněna konektorem, který je připojen z vrchu antény, a tedy ovlivňuje vyzařovací charakteristiku. Dalším problémem, který zvyšuje chybu měření je to, že měřicí aparatura s komorou je vhodná pro měření od kmitočtu 1 GHz, měřená anténa pracuje na kmitočtu nižším.

Měření bylo provedeno od  $-135^\circ$  do  $135^\circ$ , v rovinách E a H a směrová charakteristika je naměřena v decibelech. Frekvence, na které byla směrová charakteristika naměřena, byla zvolena podle rezonanční frekvence při měření činitele odrazu, tedy 889 MHz. Výsledky měření lze vidět na následujících grafech (Obrázek 4.10, 4.11). Referenční úroveň byla -51,2 dB



Obrázek 4.10 Směrová charakteristika v rovině E.



Obrázek 4.11 Směrová charakteristika v rovině H.



## 5 ZÁVĚR

První část práce popisuje základní principy RFID (rádiová frekvenční identifikace) a jeho vlastnosti. Je zde uveden jeho historický vznik a postupný vývoj. Dále se tato část už zabývá samotným RFID, je zde popsán tag a čtečka, což jsou dvě hlavní části této technologie. Rozebrána jsou také frekvenční pásma, na kterých se RFID používá, vlastnosti tagů v těchto jednotlivých pásmech a jsou zde srovnány čtecí vzdálenosti. Tagy se rozdělují také podle způsobu jejich komunikace, v případě této práce je navržen pasivní tag, ale v úvodní části jsou shrnuty jednotlivé typy, od pasivních až po aktivní. V této části jsou pak shrnuty také základní vlastnosti tagů, jako je backscattering, neboli zpětný odraz vlny, čehož se využívá právě v případě pasivního tagu, jehož návrhem se práce zabývá. Další důležité vlastnosti jako je efektivní odrazná plocha tagu, či maximální čtecí vzdálenost, které výrazně ovlivňují čtení tagu jsou zde popsány také.

Druhá část práce se zabývá základními parametry antén, jako je činitel odrazu, činitel směrovosti, zisk, účinnost a další parametry, které jsou důležité pro anténu. Jsou zde uvedena vysvětlení těchto veličin a vzorce pro jejich výpočet. Hlavním bodem této části je ovšem popis vlastností meandrové antény, která je využita pro tagy v pásmu UHF, a je také použita pro návrh tagu v této práci. Uvedeny jsou postupy jejího návrhu, vysvětlen je také princip meandrování, který je využíván pro zmenšování antén a jeho vlivu na parametry antény. Jsou zde ukázány a popsány základní prvky antény a jejich vliv na parametry použité antény, která byla následně modelována. Na závěr této části jsou zde shrnuty základní vlastnosti čipu, který by měl být na anténu připojen.

Třetí část práce se zabývá samotným namodelováním tagu, a způsobem simulace která je provedena v programu CST Microwave studio. Popsány jsou možnosti tohoto programu a jeho nastavení pro simulaci antény. Jsou zde zhodnoceny výsledky základních vlastností antény, jako je činitel odrazu, zisk, směrovost. Dále jsou zde uvedeny výsledky simulací pro ověření RCS neboli efektivní odrazné plochy antény, anténa byla ozařována pomocí rovinné vlny z různých směrů a byla zvolena varianta s nejlepším výsledkem, která je uvedena v práci. Nejlepších výsledků RCS dosahovalo při ozáření na co největší plochu antény. Maximální hodnota kopírovala vždy vyzařovací charakteristiku antény, ať už byla anténa ozářena z jakéhokoliv místa, pouze hodnoty efektivní odrazné plochy se měnily. Na závěr byly provedeny simulace pro ověření vlivu autosedačky. Anténa byla umístěna na různá místa na sedadle a byl ověřen vliv sedadla na vyzařovací charakteristiku antény. Nejhorších výsledků bylo dosaženo pod sedadlem, naopak nejlepších na boku sedadla, ať už na hlavové, či zádové opěrce. Po zvolení umístění na hlavové opěrce byly provedeny simulace činitele odrazu antény u hlavové opěrky a byl zjištěn frekvenční posuv na vyšší frekvence. Byly tedy změněny rozměry antény, které byly o něco vyšší než při měření činitele odrazu samotné antény.

Poslední část práce se zabývá výrobou antény. Výroba antény pomocí nalepení měděného vyleptaného vzoru na 3D textil nebyla příliš složitá, i když prvotní pokusy o nalepení nebyly příliš zdařilé, ovšem po použití postupu uvedeného ve čtvrté kapitole došlo k celkem snadnému a hlavně přesnému nanesení vzoru na 3D textil. Samotné měření antény bylo porovnáváním simulovaných hodnot s hodnotami naměřenými, a ověření funkčnosti antény. Bohužel z nedostatku času nebylo sestaveno a odzkoušeno přizpůsobovací vedení od vektorového analyzátoru k anténě, které je ale v práci stručně popsáno, jakým způsobem by bylo realizováno, v případě možnosti na práci déle

pracovat. Pro potřeby měření byly tedy provedeny simulace vlivu připojení koaxiálního kabelu k anténě, toto opatření způsobilo zhoršení činitele odrazu a posuv rezonančního kmitočtu. Měření činitele odrazu ve volné prostoru bylo prováděno ve školní laboratoři na vektorovém analyzátoru. Výsledek měření se samozřejmě lišil od simulace, ale pouze v řádu několika MHz. Hodnota činitele odrazu dosahovala malé odchylky od simulace. Při měření činitele odrazu antény u sedadla automobilu byly opět naměřeny odchylky od rezonančního kmitočtu opět několik MHz, činitel odrazu se lišil více, protože u simulace nebyla brána v potaz kovová konstrukce v sedadle, která by výrazně zvýšila dobu výpočtu simulace. Oproti měření antény ve volném prostoru došlo při měření u autosedačky k poklesu rezonanční frekvence a mírnému poklesu činitele odrazu. Na závěr byla vyrobená anténa podrobena měření směrových charakteristik. Byla využita bez odrazová komora, která je vhodná pro měření od kmitočtu 1 GHz. Anténa v této práci pracuje na kmitočtu nižším a měření je méně přesné. Za nepřesnost měření může také konektor umístěný nad anténou, který ovlivní směrovou charakteristiku.

Připájením uvedeného integrovaného RFID obvodu k anténě vznikne tag, který může být podroben měření, a může být ověřena jeho funkčnost. Toto už ovšem nebylo cílem této práce.

# LITERATURA

- [1] BÍLEK, Ondřej. Antény integrované do zadního okna automobilu. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. Vedoucí práce Ing. Martin Kufa.
- [2] DOBKIN, Daniel M. *The RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice*. Spojené státy americké: Newnes, 2008, 504 s. ISBN 978-0-7506-8209-1.
- [3] FAUDZI, N. M., M. T. ALI, I. ISMAIL, H. JUMAAT a N. H. M. SUKAIMI. A compact dipole UHF-RFID tag antenna. *RF and Microwave Conference (RFM), 2013 IEEE International*. Penang, Malaysia: IEEE Xplore, 2013, 314-317. DOI: 10.1109/RFM.2013.6757274.
- [4] HAVLÍČEK, Jaroslav. *Malé odražeče pro bezčipovou rádiovou identifikaci*. Praha, 2015. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Milan Polívka, Ph.D.
- [5] HORÁK, David. *Návrh meandrovité antény pro RFID aplikaci*. Brno, 2008, 61 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Zbyněk Lukeš, Ph.D.
- [6] Ming-Tao Zhang, Yong-Chang Jiao, Fu-Shun Zhang and Wu-Tu Wang (2009). Design of Antennas for RFID Application, Development and Implementation of RFID Technology, Cristina Turcu (Ed.), ISBN: 978-3-902613-54-7, InTech, Available from: [http://www.intechopen.com/books/development\\_and\\_implementation\\_of\\_rfid\\_technology/design\\_of\\_antennas\\_for\\_rfid\\_application](http://www.intechopen.com/books/development_and_implementation_of_rfid_technology/design_of_antennas_for_rfid_application)
- [7] NOVÁČEK, Zdeněk. *Elektromagnetické vlny, antény a vedení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2006, 133 s. ISBN 80-214-3301-9.
- [8] PACHOLÍK, Vladimír. *Experimentální tagy pro UHF RFID aplikace*. Brno, 2012, 39 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Zbyněk Lukeš, Ph.D.
- [9] *Portál RFID-EPC.cz* [online]. 2016 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <https://www.rfid-epc.cz/>
- [10] *Radartutorial.eu* [online]. [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <http://www.radartutorial.eu/01.basics/Radar%20Cross%20Section.en.html>
- [11] RAIDA, Zbyněk a kol. *Multimediální učebnice: Elektromagnetické vlny, mikrovlnná technika* [online]. BRNO: FEEC VUT Brno, 2010 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.php?lang=cz>
- [12] *Portál RFMICRON* [online]. 2017 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <http://rfmicron.com/magnus-family/>
- [13] Datasheet SL900A [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: [https://cz.mouser.com/datasheet/2/588/AMS\\_SL900A\\_Datasheet\\_EN\\_v5-1214833.pdf](https://cz.mouser.com/datasheet/2/588/AMS_SL900A_Datasheet_EN_v5-1214833.pdf)
- [14] *Prezentace z přednášek předmětu MASV* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://moodle.vutbr.cz/course/view.php?id=171015>

# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

$B$	Susceptance
$C$	Činitel vazby mezi anténou a čtečkou, Kapacita.
$C_{LE}$	Kapacita potřebná pro nastavení simulace.
$D_{max}$	Činitel směrovosti.
$E_S$	Vektor intenzity elektrického pole odražené vlny v bodě pozorování.
$E_i$	Vektor elektrického pole dopadající vlny v místě dopadu.
$f$	Rezonanční kmitočet.
$G$	Zisk antény.
$G_{reader}$	Zisk vysílací antény čtečky.
$G_{tag}$	Zisk antény tagu.
$L$	Indukčnost
$P_{chip}$	Výkon absorbovaný čipem.
$P_{reader}$	Výkon vyzářený čtečkou.
$P_{sensitivity}^{reader}$	Minimální výkon potřebný pro napájení tagu.
$P_{transmitted}^{reader}$	Výkon vysílaný čtečkou.
$R$	Maximální čtecí vzdálenost.
$R_{vst}$	Vstupní odpor antény.
$R_{\Sigma vst}$	Odpor záření antény.
$R_{ztr}$	Ztrátový odpor antény.
$r$	Vzdálenost mezi bodem pozorování a ozařovaným objektem.
$S_{11}$	Činitel odrazu na vstupu antény.
$X$	Reaktance.
$X_C$	Kapacitance čipu.
$X_{vst}$	Vstupní reaktance antény.
$z$	Normovaná impedance.
$Z$	Impedance.
$Z_A$	Impedance antény.
$Z_{vst}$	Vstupní impedance.
$Z_0$	Impedance připojeného vedení, charakteristická impedance.
$\eta$	Účinnost.
$2\theta_E$ a $2\theta_H$	Úhlové šířky hlavního laloku ve dvou navzájem kolmých rovinách

$\lambda$	Vlnová délka.
$\rho$	Hodnota impedančního přizpůsobení mezi čtečkou a její anténou.
$\sigma_{\text{ef}}$	Efektivní odrazná plocha.
$\tau$	Výkonový přenosový koeficient.
HF	Vysoká frekvence.
LF	Nízká frekvence.
MW	Microwave
RCS	Radar cross-section.
RFID	Radiofrekvenční identifikace.
UHF	Velmi vysoká frekvence.